

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة صالح بوبنيدر قسنطينة 3



كلية الهندسة المعمارية والتعمير
قسم الهندسة المعمارية

رقم التسجيل:

الرقم التسلسلي:

أطروحة مقدمة لنيل شهادة دكتوراه علوم في الهندسة المعمارية
تخصص : الهندسة المعمارية البيومناخية
الموضوع:

تأثير التهوية الطبيعية على الراحة الحرارية في مساجد المناخ الحار والجاف
(حالة: وادي سوف)

إشراف: أ.د. بوالشحم ياسمينة

إعداد: مباركي عمار

لجنة المناقشة

رئيسا.	جامعة قسنطينة 3	أستاذ التعليم العالي	أ.د. قريشي عمار
مقررا.	جامعة قسنطينة 3	أستاذ التعليم العالي	أ.د. بوالشحم ياسمينة
ممتحنا.	جامعة الأغواط	أستاذ التعليم العالي	أ.د. بن الشيخ حميدة
ممتحنا.	جامعة قسنطينة 3	أستاذ محاضر "أ"	د. محيمود عيسى
ممتحنا.	جامعة باتنة 1	أستاذ محاضر "أ"	د. حمودة عبيدة
ممتحنا.	جامعة بسكرة	أستاذ محاضر "أ"	د. بوزاهر سمية

ملخص

يعتبر التبريد المستهلك الأساسي للطاقة في المساجد، باعتبار معظم العالم الإسلامي يقع ضمن نطاق المناخ الحار. إن الفهم المناسب للراحة الحرارية وتأثير العوامل الداخلة فيها خصوصاً حركة الهواء من شأنه مساعدة مصممي البناء على توفير بيئة حرارية ملائمة للمستخدمين، دون إستنزاف للطاقة وبالتالي التقليل من تكاليفها الإقتصادية، البيئية والصحية. الأبحاث التي إهتمت بدراسة الراحة الحرارية للمصلين في المساجد وعلى ندرتها لم تتطرق لدراسة تأثير حركة الهواء في ذلك. لأجل دراسة تأثير حركة الهواء على مجالات الإحساس الحراري باعتباره أنسب المؤشرات لتقييم الراحة إرتكزت الدراسة الميدانية على النموذجين: العقلاني "ASHRAE55/2013, ISO 7730" والذاتي "ASHRAE 55/2013, ISO 10551" وقد أجريت الدراسة على حالة تمتاز بطابع الشمولية من حيث عناصر التصميم والمناخ الحار الجاف إضافة إلى تشابه العناصر الذاتية للمستخدمين، إن كون المسجد المختار مزود بقبة متحركة ونوافذ عديدة مظلمة، سمح بتنوع سيناريوهات حركة الهواء ودرجات الحرارة لتصل ل: 19 سيناريو مختلف موزع على كامل الفترة الحارة، وتم تحليل 1082 إستبيان. وأعقب الدراسة الميدانية تقييماً لتأثير النتائج المستخرجة على إستهلاك الطاقة باستخدام برنامج المحاكاة "EDSL-TAS". إضافة إلى إستخدام "تطبيق حسابي لحركة الموائع" (CFD) لبرج تبريد بالتبخير من أجل إيجاد حدود لإستخدام هذا النوع من إستراتيجيات التبريد لضمان دقة نتائج الدراسة الميدانية. كما أورد البحث دراسة لتأثير نتائج الدراسة الميدانية على مدى إمكانية توفير جو حراري مريح وصحي في الوقت ذاته بأية وسيلة ممكنة للتبريد. ولخصت النتائج كما يلي: إن توفير حركة هواء داخلي تتجاوز 0.4 م/ثا ترفع الحرارة الحيادية مجال الإحساس الحراري من 21.3°م إلى 26.7°م وهو ما يوفر طاقة تتراوح بين 25 و 60.5% بالنظر إلى قيم "معدل تغير الهواء" (ACH). ومن أجل دقة النتائج كمرجع يوصي البحث بأن لا يعتمد على التبريد بالتبخير بشكل مطلق عند تجاوز الحرارة الخارجية ل: 39°م. وبخصوص جانب التأثير الصحي المباشر على المستخدمين إتضح أن سرعات الهواء التي تتجاوز 0.4 م/ثا من شأنها توفير بيئة حرارية صحية عند إستخدام أية وسيلة للتبريد بخلاف السرعات الأقل من هذه العتبة.

الكلمات المفتاحية: المساجد، المناخ الحار الجاف، الراحة الحرارية للتأقلم، سرعة الهواء، أحمال التبريد، التبريد بالتبخير، الفارق الحراري الآمن.



الاهداء

هي ثمرة عائلة وتواصل
هي نتاج اخلاص عائلة متأصل
وبذلك أصل الى اهدائها وهي
من هدايا المنان الى كل عائلتي
ولكل من أدين له بالامتنان:

أمي حبيبة روعي
وأبي روح مسرتي

وابنتي وهي حبي ووصلتي
وما أكثر اعتزازي بجدي وجدتي
الى العزيزة خالتي ... وصديقتي أختي
الى أخوالي... وأخلائي اخواني
الى عماتي وأعمامي
الى كل مخلص

مباركي عمار

بِسْمِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
رَبِّ اَوْزَعْنِي اِنْ اَشْكُرْ نِعْمَتَكَ الَّتِي اَنْعَمْتَ عَلَيَّ
وَعَلَى وَالِدَيَّ وَاِنْ اَعْلُ صَاحِحًا تَرْضَاهُ

شكر وعرفان

تم البحث بحمد الله المنان ولوالدي العزيزان كل الامتنان

أتقدم بداية بشكر أستاذتي الكريمة أ.د. بوالشحم ياسمينه على تميز تأطيرها وكرم عطائها

ولأستاذتي أ.د. بوربيع فتيحة مديرة مخبر العمارة البيومناخية شكري لدعمها ومرافقتها

وأعبر للأساتذة رئيس وأعضاء اللجنة عن شكري لتشريفني بقبولهم تقييم العمل

وأشكر كل من ساهم من قريب أو من بعيد في توجيهي ودعمي من عائلتي:

مباركي حسين، منير، أمين، خالد، ومحززي ايهاب ومن أساتذتي: سحنوني صليحة،

عساسبي عبد الحلیم، بلارة الوافي، وطححي وليد. وزملائي: معمري بلال، زناقي الياس، مباركي زرفة،

مباركي ابتسام، زويتن كوثر، حواس أمين، مقا مهدي وحداد جمال وكل أقاربي وزملائي

وأصدقائي. كما أتقدم بجزيل الشكر لإخوتي لدعمهم عبد الكريم، إلياس، يسين، يوسف، سامية وأختي

المتميّزة أسماء. وأشكر كل من ساهم في تكويني.

الفهرس

a	قائمة المحتويات
h	قائمة الجداول
j	قائمة الأشكال
o	معاني الرموز
s	ترجمة المصطلحات

المقدمة العامة

01	مقدمة
04	الإشكالية
06	الفرضيات
06	الأهداف
06	المنهجية

الفصل الأول: عمارة المساجد في المناخ الحار الجاف

09	المقدمة
09	1. عمارة المساجد
09	1.1. مفهوم المسجد
10	2.1. الدور الاجتماعي والثقافي للمسجد
10	3.1. عمارة المساجد بين الثوابت والمتغيرات
11	1.3.1. العناصر الثابتة
11	1.1.3.1. الحرم (قاعة الصلاة)
13	2.1.3.1. الصحن
15	3.1.3.1. المنبر
15	4.1.3.1. المحراب
16	2.3.1. العناصر الإضافية في عمارة المساجد
16	1.2.3.1. بيت الوضوء
17	2.2.3.1. القبّة

19	3.2.3.1. المتذنة
21	2. نظرة الإسلام للبيئة والإستهلاك
21	1.2. الحفاظ على الموارد
22	2.2. الحفاظ على الهواء
22	3. تأثير المناخ الحار الجاف في تصميم المساجد
23	1.3. إستخدام الصحن
23	1.1.3. إستخدام الصحن في تبريد المبنى
24	1.1.1.3. أبعاد الصحن ونسبه
26	2.1.1.3. موقع وتوجيه الصحن
28	3.1.1.3. معالجات الصحن
30	2.1.3. إستخدام الصحن للصلاة
31	2.3. إستخدام السقوف المقببة
33	3.3. إستخدام أبراج الرياح
35	خلاصة

الفصل الثاني: مفاهيم ودراسات حول الراحة الحرارية داخل المبنى

36	المقدمة
36	1. مفهوم الراحة الحرارية
37	2. التوازن الحراري بين الجسم وبيئته
37	1.2. التبادل الحراري بواسطة الحمل
38	2.2. التبادل الحراري بواسطة التبخر
38	3.2. التبادل الحراري بواسطة التوصيل
39	4.2. التبادل الحراري بواسطة الإشعاع
40	3. عوامل الراحة الحرارية
40	1.3. العوامل البيئية
40	1.1.3. درجة حرارة الهواء
40	2.1.3. الرطوبة النسبية للهواء
41	3.1.3. سرعة الهواء

41	4.1.3. الحرارة الإشعاعية
41	2.3. العوامل الفيزيولوجية
41	1.2.3. نشاط الفرد
42	2.2.3. نوع الغذاء
42	3.2.3. السن والجنس
42	4.2.3. التأقلم
43	5.2.3. نوعية اللباس
43	3.3. العوامل النفسية والاجتماعية
44	4. تقييم الراحة الحرارية
45	1.4. مؤشر الإحساس الحراري
45	1.1.4. مفهوم الإحساس الحراري
46	2.1.4. النموذج العقلائي
47	1.2.1.4. مؤشر توقع معدل التصويت (PMV)
47	2.2.4. نسبة الأشخاص الغير راضين (PPD)
48	3.1.4. النموذج الذاتي : متوسط التصويت الواقعي (AMV)
49	5. دراسات سابقة حول إستخدام مؤشر الإحساس الحراري
58	خلاصة

الفصل الثالث: دور التهوية في تحسين الأداء الطاقوي صيفا

59	مقدمة
59	1. الوسط الحراري للمبنى والعناصر المؤثرة فيه
59	1.1. موقع المبنى
60	2.1. شكل وتراص المبنى
61	3.1. خصائص غلاف المبنى
61	2. مصادر الكسب الحراري ومسألة الأداء الطاقوي للمبنى
62	1.2. الكسب الطاقوي الخارجي
62	1.1.2. الكسب الطاقوي خلال الزجاج
63	2.1.2. الكسب الطاقوي عبر الأسطح
64	3.1.2. الكسب الطاقوي بواسطة التهوية
65	2.2. مصادر الكسب الطاقوي الداخلي

65	1.2.2. الكسب الطاقوي للإضاءة
65	2.2.2. الكسب الطاقوي للأشخاص
67	3. إستهلاك الطاقة لتصحيح الأداء الحراري
68	1.3. مفهوم الطاقة
68	2.3. مصادر الطاقة
69	3.3. إستهلاك الطاقة الكهربائية للتبريد
70	4.3. الأثر الصحي المباشر لإستخدام المكيفات بدون دراسة حرارية
71	5.3. التكاليف البيئية لإستهلاك الطاقة الأحفورية
72	4. التهوية الطبيعية لتحسين الأداء الطاقوي
72	1.4. العوامل المؤثرة في حركة الهواء
73	1.1.4 تأثير قوة الرياح
74	2.1.4 تأثير السحب الحراري
76	2.4. إستخدام التهوية في التبريد
76	1.2.4. التهوية الليلية
77	2.2.4. تبريد الهواء بالتبخير
79	3.2.4. إستخدام السعة الحرارية لسطح الأرض
80	3.4. دراسة الفتحات لدعم تدفق الهواء
80	1.3.4. الموضع الأفقي للنوافذ
81	2.3.4. الموضع الرأسي للفتحات
82	3.3.4. مساحة الفتحات
82	4.3.4. التهوية الرأسية باستخدام القباب
83	خلاصة

الفصل الرابع: حالة وأدوات الدراسة

84	مقدمة
84	1. العناصر البنائية للمساجد التاريخية في إقليم الدراسة
86	1.1. الشكل العام للمساجد الأثرية بالمنطقة
86	2.1. الشكل العام للمساجد الثرية بالمنطقة
86	1.2.1. العناصر المحلية ذات التأثير على الوسط الحراري
86	1.1.2.1. قاعة الصلاة

86	2.1.2.1. الصحن
86	2.2.1. العناصر المعمارية ذات التأثير على الوسط الحراري
86	1.2.2.1. الجدران والسقوف
87	2.2.2.1. الأبواب والنوافذ
87	3.2.2.1. القباب
87	4.1.2.1. الأروقة المظللة المحيطة بقاعة الصلاة
87	2. حالة الدراسة
88	1.2. الموقع الجغرافي
89	2.2. الجانب المناخي
90	1.2.2. الحرارة
91	2.2.2. الرطوبة
91	3.2.2. التساقط
91	4.2.2. الرياح
92	5.2.2. التشميس
93	6.2.2. التبخر
93	3.2. الجانب المعماري
94	1.3.2. موقع المسجد
95	2.3.2. قاعة الصلاة
98	3.3.2. الصحن
99	4.3.2. القباب
102	5.3.2. الأروقة المغطاة
103	6.3.2. المآذن
103	4.2. جانب العينات
104	3. أدوات الدراسة والسيناريوهات
104	1.3. أدوات الدراسة والسيناريوهات
104	1.1.3. المنهج العقلاني (ISO: 7730)
104	1.1.1.3. طريقة القياس
105	2.1.1.3. أدوات القياس
107	3.1.1.3. طريقة الحساب

109	2.1.3. النموذج الذاتي، الاستبيان (ISO: 10551)
110	2.3. السيناريوهات
115	خلاصة

الفصل الخامس: تحليل ومناقشة النتائج

116	مقدمة
116	1. تحليل السيناريوهات
118	1.1. التدرج الحراري
119	1.2. تأثير أبعاد الفتحات الأفقية والرأسية
121	2. نتائج النموذج العقلائي
121	1.2.1. مداخل النموذج الذاتية
121	1.1.2. النشاط
122	2.1.2. اللباس
123	3.1.2. العوامل الفيزيولوجية
124	2.2. نتائج مؤشرات الإحساس الحراري (مؤشري PMV، PPD)
128	3. تحليل نتائج النموذج الذاتي (مؤشري AMV، APD)
132	1.3. تأثير حركة الهواء على الراحة الحرارية
137	2.3. المقارنة بين PMV و AMV وفق مجالي سرعة الهواء المستخرجة
140	3.3. الراحة الحرارية للتأقلم
142	خلاصة

الفصل السادس: ترجمة النتائج

144	مقدمة
145	1. أهمية نتائج الدراسة الميدانية في خفض أحمال التبريد
145	1.1. تقديم برنامج المحاكاة
146	2.1. سير المحاكاة
146	1.2.1. التأكد من ملاءمة النموذج للمحاكاة
147	2.2.1. تقييم أهمية النتائج في خفض استهلاك طاقة التبريد
147	3.1. نموذج الدراسة
149	4.1. مداخل البرنامج

149	1.4.1. ملف المعطيات المناخية
149	2.4.1. عناصر ومواد البناء
151	3.4.1. الظروف الداخلية
152	4.4.1. ملحق السيناريوهات
152	5.4.1. أنماط الفتحات
153	5.1. تحليل ومناقشة النتائج
153	1.5.1. تأكيد ملائمة نموذج المحاكاة
154	1.1.5.1. مقارنة بين الواقع والقياس
158	2.1.5.1. التوزيع الحراري بين المناطق
159	2.5.1. أحمال التبريد
161	1.2.5.1. تأثير برمجة المعدلات الحرارية
164	2.2.5.1. تأثير تحديد الهواء على أحمال التبريد
166	2. حدود التبريد بالتبخير للإستفادة من حركة الهواء في الشعور بالرضا
174	3. أهمية النتائج في توفير بيئة حرارية صحية
178	خلاصة
180	خلاصة عامة وتوصيات
186	المراجع
201	الملحقات
207	Abstract
208	Résumé

قائمة الجداول

الفصل الأول

الجدول 1.1. كيفية مساهمة عناصر الصحن في تلطيف الجو الحراري للمبنى. 24

الفصل الثاني

الجدول 1.2. تصنيف درجة الإحساس الحراري على مقياس "آشري" 46

الجدول 2.2. أبعاد وأحجام المساجد المختارة في دراسة "العجمي". 53

الجدول 3.2. معادلات الاحساس الحراري المستخرجة بدلالة سرعات الهواء والرطوبة النسبية. 56

الفصل الثالث

الجدول 1.3. الريح الحراري لمختلف أنواع الزجاج. 62

الجدول 2.3. مقدار الكسب الحراري الكامن والمحسوس للأشخاص. 67

الجدول 3.3. نظام التبريد المباشر بالتبخير باستخدام برج الرياح للباحث "بوشتييري". 79

الجدول 4.3. تأثير زيادة مساحة النافذة على سرعة الهواء. 82

الفصل الرابع

الجدول 1.4. يقدم مقارنة بين أبعاد قاعة الصلاة لأمثلة من المساجد التاريخية وحالة الدراسة. 96

الجدول 2.4. مكونات العناصر البنائية المستخدمة. 96

الجدول 3.4. موقع القباب وأبعادها في بعض المساجد الأثرية ونموذج الدراسة. 99

الجدول 4.4. الأدوات المستخدمة في القياس. 106

الجدول 5.4. الخصائص البيئية للسيناريوهات، وعدد العينات البحثية. 114

الفصل الخامس

الجدول 1.5. نتائج الظروف الحرارية لقاعة الصلاة (مختلف السيناريوهات) 117

الجدول 2.5. نتائج المعلومات الشخصية للعينات. 124

الجدول 3.5. علاقة "PMV" بدلالة سرعة الهواء (V_{air}) " $T_o = 28^\circ \text{م} \pm 0.6$ كمرجع". 125

الجدول 4.5. العلاقة بين "PMV" و " V_{air} ". 127

الجدول 5.5. نتائج مؤشرات نموذج الاحساس الذاتي "AMV"، "APD" لكل السيناريوهات. 131

الفصل السادس

150	الجدول 1.6. مكونات العناصر البنائية المستخدمة.
150	الجدول 2.6. الخصائص الحرارية للمواد المستخدمة.
168	الجدول 3.6. خصائص برج التبريد بالتبخير للباحث "بوشتييري".
169	الجدول 4.5. مقارنة التطبيق المنجز والتطبيق الأصلي للباحث "بوشتييري" لتأكيد التطابق.
170	الجدول 5.6. حدود استخدام التبريد بالتبخير للاستفادة من سرعة الهواء لدعم الراحة الحرارية.
176	الجدول 6.6. تأثير سرعة الهواء على نسبة عدم الرضا بالنظر الى الفارق الحراري الصحي بين الداخل والخارج.

قائمة الأشكال

الفصل الأول

- 12 الشكل 1.1. بعض الأشكال المفضلة والغير مفضلة لقاء الصلاة.
- 13 الشكل 2.1. صورة جوية لجامع ومدرسة السلطان حسن بمصر وهي تبرز الصحن وسط الناء.
- 14 الشكل 3.1. صورة علوية لجامع قرطبة وهي تبرز الصحن في الجهة الخلفية للبناء.
- 15 الشكل 4.1. صورة لصحن مزود بميضأة في وسطه بمسجد عمر بن العاص بمصر.
- 16 الشكل 5.1. صورة لمنبر ومحراب جامع السلطان حسن في مصر.
- 18 الشكل 6.1. أنواع أشكال القباب في العمارة الإسلامية.
- 19 الشكل 7.1. مخطط لمسجد السلطان سليمان والقطاع الرئيسي منه.
- 20 الشكل 8.1. بعض أشكال المآذن أ. مسجد القيروان بتونس 627 م / ب. أشكال متنوعة من كل أنحاء العالم.
- 26 الشكل 9.1. المسقط الأفقي وصور مسجد تمبكتو بمالي.
- 26 الشكل 10.1. جامع الأزهر بمصر. أ. المخطط / ب. صورة للصحن.
- 27 الشكل 11.1. أشكال الصحن الخاص بالمساجد الشائعة وفق تصنيف هيلين براند.
- 28 الشكل 12.1. صورة لصحن مزود بأشجار لخلق مناخ مصغر بمسجد عقبة بن نافع بسكرة الجزائر.
- 29 الشكل 13.1. صورة لصحن مزود بحوض مياه لتلطيف الجو. "المسجد الوردي" في شيراز، إيران.
- 30 الشكل 14.1. صور لمظلات المسجد النبوي.
- 31 الشكل 15.1. صورة لاستخدام الصحن للصلاة بمسجد القيروان بتونس.
- 32 الشكل 16.1. مخطط ومنظر عام لمسجد السيد هاشم بغزة-فلسطين.
- 32 الشكل 17.1. صور القباب المتحركة في المسجد النبوي.
- 33 الشكل 18.1. مسجد تاريخي من القرن 10 "نائين" بإيران مزود بملاقف البهواء.
- 34 الشكل 19.1. مخطط المسقط، مقطع في برج الرياح ومنظر عام لمسجد الرحمانية بالجوف بالمملكة السعودية.
- 34 الشكل 20.1. مقارنة الاستهلاك الطاقوي السنوي بين مسجد مزود بأبراج التبريد بالتبخير ومتوسط الاستهلاك لمجموعة مساجد من نفس الحجم.

الفصل الثاني

- 39 الشكل 1.2. رسم توضيحي للتبادلات الحرارية بين الجسم ومحيطه.
- 43 الشكل 2.2. قيم معامل العزل الحراري للملابس باختلاف نوع اللباس.
- 48 الشكل 3.2. العلاقة بين "PMV" و "PPD"
- 52 الشكل 4.2. مخطط ونقطة رفع القياس في دراسة الباحث "كالميس" 2015.
- 54 الشكل 5.2. نتائج تغير مؤشر توقع التصويت (PMV) و (AMV) بدلالة الحرارة الفعالة (T_o) في دراسة "العجمي"
- 55 الشكل 6.2. عينات من أقسام الدراسة التي شملتها دراسة "موداست".
- 57 الشكل 7.2. عينات من أقسام الدراسة التي شملتها دراسة "موداست".

الفصل الثالث

- 60 الشكل 1.3. تأثير الشكل والحجم والمجاورة على معامل الشكل.
- 74 الشكل 2.3. المسافات الواجب احترامها للسماح بالتهوية الطبيعية لمجموعة بنايات خاضعة للرياح.
- 74 الشكل 3.3. إمكانية التهوية الطبيعية لمبنى وفقا لموضعه من حاجز.
- 75 الشكل 4.3. التدرج الحراري لثلاثة أنواع من السقف لغرفة ذات مصدر حراري في المركز. في دراسة الباحث "اونس تليلي".
- 76 الشكل 5.3. التهوية الليلية: (01) تهوية من واجهة واحدة، (02) تهوية رأسية.
- 77 الشكل 6.3. صورة توضيحية للتبريد بالتبخير.
- 79 الشكل 7.3. نظام التبريد المباشر بالتبخير باستخدام برج الرياح للباحث "بوشثيري".
- 81 الشكل 8.3. وضع الفتحات بالنسبة لاتجاه الرياح.
- 81 الشكل 9.3. وضع الفتحات الرأسي لاتجاه الرياح.

الفصل الرابع

- 85 الشكل 1.4. المساجد الأثرية بمنطقة الزاب.
- 85 الشكل 2.4. المساجد الأثرية بمنطقة وادي ريغ.
- 88 الشكل 3.4. صورة علوية لمدينة وادي سوف "مدينة الألف قبة".
- 89 الشكل 4.4. موقع مدينة وادي سوف. أ. الموقع الجغرافي بالنسبة للجزائر/ب. الموقع الفلكي.
- 90 الشكل 5.4. الرسوم البيانية لمختلف القيم الحرارية المتوسطة الشهرية (2006-2011).
- 91 الشكل 6.4. الرسوم البيانية لمستويات الرطوبة النسبية المتوسطة الشهرية (2006-2016)

- 92 الشكل 7.4. زهرة الرياح لمدينة وادي سوف.
- 93 لشكل 8.4. الرسم البياني لعدد ساعات التشميس الشهرية (2006-2011)
- 94 الشكل 9.4. صورة جوية تظهر وجود مسجد أبي موسى الأشعري في الوسط العمراني
- 95 لشكل 10.4. صورة جوية تظهر محيط مسجد أبي موسى الأشعري.
- 95 الشكل 11.4. صورة الشكل العام لمسجد أبي موسى الأشعري.
- 97 الشكل 12.4. صورة لواجهة مسجد أبي موسى الأشعري
- 98 الشكل 13.4. المقطع الطولي لمسجد أبي موسى الأشعري.
- 100 الشكل 14.4. نموذج تقليدي لاستخدام القبّة في الية التهوية الرأسية.
- 101 الشكل 15.4. صور القبّة المتحركة لمسجد حي تقصبت
(أ) الفتح الكلي للقبّة من الداخل (ب) الشكل الخارجي للقبّة
(ج) فتح القبّة أثناء الليل (د) فتح القبّة أثناء النهار.
- 102 الشكل 16.4. رسم توضيحي للعلاقة بين التظليل على الفتحة التي تتركها القبّة والتوقيت اليومي.
- 102 الشكل 17.4. صور لأحد الأروقة المظللة بمسجد أبي موسى الأشعري.
- 105 الشكل 18.4. صورة لآلة قياس الظروف الخارجية في موقع الدراسة.
- 105 الشكل 19.4. صورة لآلات القياس الداخلية في موقع الدراسة
أ. تركيب وسائل القياس الجدارية / ب. وسائل القياس أسفل القبّة.
- 106 الشكل 20.4. مخطط المسقط لمسجد "أبي موسى الأشعري" ونقاط رفع القياس.
- 110 الشكل 21.4. صور لبعض المصلين حاملين الاستبيان.

الفصل الخامس

- 119 الشكل 1.5. حركة الهواء بفعل السحب الحراري وقوة الرياح من خلال وحول القبّة المتحركة
(أ) رسم توضيحي للألية. (ب) التدرج الحراري العمودي.
- 122 الشكل 2.5. نوعية النشاط أثناء الصلاة (مختلف الوضعيات)
- 123 الشكل 3.5. نوعية اللباس والعلاقة بين المصلين أثناء أداء النشاط.
- 126 الشكل 4.5. تغير "PMV" بدلالة الحرارة الفعالة (T_0) لأربعة مستويات من سرعة الهواء.
- 128 الشكل 5.5. تغير نسبة عدم الرضا "PPD" بدلالة تغير سرعة الهواء. .
- 129 الشكل 6.5. توزيع نسب التصويت على سلم "آشري" (ASHRAE)

- (أ) السيناريوهات 10-1. (ب) السيناريوهات 11-19.
- 133 الشكل 7.5. تغير قيم "PMV" و "AMV" بدلالة "T_o" المرتبة تصاعديا.
- 138 الشكل 8.5. الدالة الخطية لتغير "AMV" و "PMV" بدلالة الحرارة الفعالة "T_o" وفق مجالين لسرعة الهواء. (أ) $v_{air} < 0.4 \text{ m/s}$. (ب) $v_{air} \geq 0.4 \text{ m/s}$.
- الفصل السادس**
- 145 الشكل 1.6. برنامج المحاكاة.
- 146 الشكل 2.6. تسلسل تطبيقات برنامج المحاكاة
- 148 الشكل 3.6. نموذج المحاكاة ثلاثي البعد لحالة الدراسة
- 149 الشكل 4.6. المستوى الافتراضي الأول
- 151 الشكل 5.6. عناصر البناء المستخدمة
- 153 الشكل 6.6. نمط الفتحات (أ). أنواع الفتحات. (ب). طريقة التحكم في الفتحات
- 154 الشكل 7.6. نقاط القياس في مخطط النموذج الواقعي وما يقابلها من مناطق في نموذج المحاكاة.
- 155 الشكل 8.6. مقارنة بين درجة حرارة الهواء للمحاكاة والقياس ليوم 30 مارس 2016.
- 157 الشكل 9.6. مقارنة بين رطوبة الهواء النسبية للمحاكاة والقياس ليوم 30 مارس 2016.
- 158 الشكل 10.6. مقارنة بين نتائج المحاكاة لدرجات حرارة الهواء للمناطق 1-6
- 160 الشكل 11.6. محاكاة التغير الحراري والاستهلاك الطاقوي الساعي لحالة الدراسة في الفترة (اليوم 81 الى 300) (أ) $v_{air} < 0.4 \text{ m/s}$. (ب) $v_{air} \geq 0.4 \text{ m/s}$.
- 162 الشكل 12.6. مقارنة الاستهلاك الكمي الطاقوي بالاعتماد على برجة تيرموستات التكييف. (أ) على أساس T_n. (ب) على أساس T_n^{sup}.
- 164 الشكل 13.6. مقارنة الاستهلاك النسبي للطاقة بالاعتماد على برجة تيرموستات التكييف.
- 165 الشكل 14.6. تأثير "ACH" في الحفاظ على الطاقة في حالة " $v_{air} \geq 0.4 \text{ m/s}$ " (أ) مقارنة كمية. (ب) مقارنة نسبية لتوفير الطاقة.

قائمة المعادلات

الفصل الثاني

- 37 1. التبادل الحراري بواسطة تيارات الحمل
39 2. التبادل الحراري بواسطة الإشعاع

الفصل الثالث

- 61 1. الميزان الحراري للطقس الحار
63 2. الكسب الطاقوي عبر الأسطح
64 3. الكسب الطاقوي بواسطة التهوية
65 4. الكسب الطاقوي للإضاءة
65 5. الكسب الحراري المحسوس للأشخاص
66 6. الكسب الحراري الكامن للأشخاص
75 7. فارق الضغط بين الهواء الخارجي والداخلي

الفصل الرابع

- 107 1. الحرارة الفعالة
107 2. الحرارة الإشعاعية
107 3. توقع معدل التصويت PMV
108 4. حرارة سطح الباس
108 5. توقع نسبة عدم الرضا PPD

الفصل الخامس

- 140 1. معدل التصويت الحقيقي (الذاتي) AMV. لسرعات هواء أقل من 0.4 م/ثا
140 2. معدل التصويت الحقيقي (الذاتي) AMV. لسرعات هواء تساوي أو تجاوز 0.4 م/ثا

الفصل السادس

- 162 1. معدل التصويت الحقيقي (الذاتي) AMV. لسرعات هواء أقل من 0.4 م/ثا
162 2. معدل التصويت الحقيقي (الذاتي) AMV. لسرعات هواء تساوي أو تجاوز 0.4 م/ثا

معاني الرموز

تيارات الحمل الحراري

معدل فقدان الحرارة نتيجة تيارات الحمل (وات/م ² × م [°]).	C:
معامل انتقال الحرارة بواسطة تيارات الحمل (وات/م ²) $hc = 8.3\sqrt{v}$	hc:
سرعة الهواء (م/ثا).	v:
متوسط درجة حرارة السطح الخارجي للملابس (م [°]).	Tc:
متوسط درجة حرارة الهواء المحيط بالإنسان (م [°]).	Ta:

التبادل الحراري بواسطة الإشعاع

معدل التبادل الحراري بين جسم الانسان والمناخ (وات/م ²).	Re:
معامل انبعاث جسم الإنسان.	E:
معامل الإشعاع في الحرارة العادية و هو يعادل $4.6 \times (Tr_x + 0.01)$.	Hr:
معامل العزل للملابس	fcl:
النسبة الفعالة من جسم الإنسان والتي تؤثر على عملية التبادل الحراري بين الجسم والمناخ المحيط.	feff:
درجة حرارة الملابس الخارجية (م [°]).	Tcl;
متوسط درجة الحرارة الإشعاعية للأسطح المحيطة بجسم الإنسان (م [°]).	Tr;

الميزان الطاقوي

الكسب بواسطة التوصيل عبر الغلاف	Gain par conduction de l'enveloppe (watt)	Qle
الكسب بواسطة تجديد الهواء.	Gain par renouvellement d'air (watt)	Qlv
الكسب الشمسي عبر الزجاج.	Gains Solaire (watt):	Qgs
الكسب الداخلي.	Gains internes (watt)	Qgi

الحرارة المكتسبة عبر الأسطح للسقوف والجدران

الحرارة المنتقلة خلال أسطح الأبنية.	La chaleur transmise à travers les Surfaces (watt)	Q
معامل الحرارة الإجمالي للجدار.	Coefficient de température global du mur (w/m ² .k)	Uw
درجة حرارة الهواء الخارجية	Température air extérieur (°C)	T _o
درجة حرارة الهواء الداخلية.	La température interne de l'air (°C)	T _i
معامل الحرارة الإجمالي للسقف.	Coefficient de température globale de la toiture (w/m ² .k)	Uc
المساحة السطحية للسقف.	Surface du toit (m ²)	Ac
معامل انتقال الحرارة بالحمل للأسطح الخارجية	Coefficient de transfert de chaleur par convection de la surface externe (w/m ² .k)	ho
معامل انتقال الحرارة بالحمل للأسطح الداخلية	Coefficient de transfert de chaleur par convection des surfaces internes (w/m ² .k)	hi
سمك طبقة الجدار	Épaisseur de couche de la paroi (m)	x
معامل التوصيل الحراري لمواد البناء	Coefficient de conductivité thermique des matériaux de construction (w/m.k)	k

الرياح الحراري المحسوس والكامن لتسرب الهواء

الكسب الحراري الكلي لتسرب الهواء.	La chaleur totale aux fuites d'air	q
الكسب المحسوس لتسرب الهواء.	Chaleur sensible aux fuites d'air (watt)	qs
الكسب الكامن لتسرب الهواء.	Chaleur latente de fuites d'air (watt)	ql
الفارق في درجة الحرارة بين الداخل والخارج	La différence entre la température à l'intérieur et à l'extérieur (c°)	Δt
تدفق الهواء.	flux d'air (m ³ /s)	Q
الفارق بين الرطوبة الداخلية والخارجية.	différence d'humidité entre l'intérieur et l'extérieur (kg/kg)	Δw
كثافة الهواء	densité de l'air (Kg/m ³)	P
متوسط الحرارة بين الداخل والخارج	La température moyenne entre l'intérieur et l'extérieur (°C)	T

الكسب الطاقوي للإضاءة

عدد المصابيح		N
قدرة المصباح الواحد.	Capacité de lampe (watt)	P
معامل التباين للإضاءة		Ful
معامل نوع المصباح		Fsa

الكسب الطاقوي للأشخاص

الكسب الحراري المحسوس للأشخاص	La chaleur sensible pour les personnes (watt)	Qps
عدد شاغلي الحيز.	nombre de personnes	n
الكسب المحسوس للشخص الواحد	La chaleur sensible par personne (watt)	qps
معامل التباين للأشخاص.	Le coefficient de variation pour les personnes.	(D.F)p
الكسب الكامن للأشخاص	watt	QpL
	watt	qpL

تأثير السحب الحراري (Thermal stack effect)

فارق الضغط بين الهواء الخارجي والداخلي (مليبار).	Δp
المسافة العمودية بين النافذتين (م).	h
الفرق في درجة حرارة الهواء بين الداخل والخارج ($^{\circ}\text{C}$).	Δt
متوسط درجة الحرارة المطلقة (درجة كلفن) حيث (درجة كلفن = درجة مئوية + 273).	K

معدل إنسياب الهواء عبر النافذة

معدل دخول الهواء (م/د).	V
المساحة الفعلية للنافذة (م^2).	A
البعد بين الفتحتين (م).	h
الفارق بين حرارة الهواء الداخلي والخارجي ($^{\circ}\text{C}$).	Δt

معدلات حساب PMV

(حرارة الهواء °م)	Air temperature	T_a
الحرارة الإشعاعية °م	Radiant temperature	T_r
قطر الكرة السوداء لالة القياس °م	Diameter of globe thermometer	D
حرارة الكرة السوداء °م	Temperature of globe thermometer.	$T_{g=}$
سرعة الهواء م/ثا	Air speed.	V_a
معدل الأيض وات/م ²	Metabolic rate.	M
النشاط الفعال وات/م ²	Effective mechanical power.	W
معامل عزل الملابس م ² . كيلفن/وات	Clothing insulation, (m ² .k / w)	I_{cl}
معامل مساحة الملابس	Clothing surface area factor.	F_{cl}
متوسط الحرارة الاشعاعية °م	Mean radiant temperature.	\bar{t}_r
سرعة الهواء م/ثا	Air velocity.	V_{ar}
الضغط الجزئي لبخار الماء. باسكال	Water vapor partial pressure.	P_a
معامل انتقال الحرارة بالحمل/وات/م ² . كيلفن	Convection heat transfer coefficient, (W / m ² .k).	h_c
درجة حرارة سطح اللباس °م	Clothing surface temperature.	t_{cl}

الراحة الحرارية للتأقلم (Adaptive thermal comfort)

معدل التصويت الحالي	Actual mean vote	AMV
الحرارة الفعالة	Operative temperature	T_o
متوسط سرعة الهواء	Relative air velocity	V_{air}
معامل الترابط	Correlation between AMV and T_o	R^2

معادلات برج التبريد والتبخير

A	Area (m^2)	<i>Greek symbols</i>	
ACH	Air change per hour (h^{-1})	ϕ	Scalar property (k or ϵ)
ATCL	Adaptive Thermal Comfort Line	Γ	Diffusion coefficient
B	Buoyancy force (N)	μ	Dynamic viscosity ($Pa \cdot s$)
C_d	Drag coefficient on droplet (dimensionless)	ν	Kinematic viscosity (m^2/s)
C_μ	Empirical constants in the realizable k- ϵ turbulence model	ρ	Density (kg/m^3)
C_p	Specific heat at constant pressure ($J/Kg \cdot K$)	ω	Humidity ration (kg/kg)
D	Drag force (N)	Dimensionless terms	
d_d	Diameter of droplet (m)	Le	Lewis factor ($h_a/C_p h_m$)
f_i	External body force in i^{th} direction (N/m^3)	Nu	Nusselt number ($h_a d_d/k_a$)
G	Gravity (N)	Pr	Prandtl number ($C_p \mu/k_a$)
H	Height of computational domain (m)	Re	Reynolds number $ u_d - u_a d_d/\nu$
h	Convection heat transfer coefficient (W/m^2K)	Subscript	
h_m	Mass transfer coefficient (kg/sm^2)	a	Air
ISOL	ISO7730 Line	c	Convection
i_{fgw0}	Enthalpy of water at temperature of $0^\circ C$ (KJ/Kg)	fcc	Air flow in evaporative cooling channel
i_{ma}	Enthalpy of moist air (KJ/Kg)	d	Droplet
i_v	Specific vaporization enthalpy (KJ/Kg)	db	Dry bulb
k_a	Thermal conductivity of air (W/mK)	e	Evaporation
L	Distance between water nozzles and reservoir (m)	in/out	Inlet/Outlet
m	Mass or mass flow rate (Kg or Kg/s)	H	Height
N_d	Number of water droplet	ma	Moist air
Q	Heat transfer (W)	p	Point near wall cell
Q_r	Cooling demand for room (W)	r	room
RH	Relative humidity (%)	sw	Saturated water
T_m	Annual average temperature of air ($^\circ C$)	v	Vapor
T	Temperature ($^\circ C$)	W	Water
u	Velocity (m/s)	Wb	wet bulb
u^*	Dimensionless velocity		
y^*	Dimensionless wall coordinate		

ترجمة المصطلحات

Cooling loads	أحمال التبريد
Energy performance	الأداء الطاقوي
Study Tools	أدوات
Questionnaire	الاستبيان
Thermal environment	البيئة الحرارية
Adaptation	التأقلم
Heat exchange by radiation	التبادل الحراري بالإشعاع
Heat exchange evaporation	التبادل الحراري بالتبخير
Heat exchange by conduction	التبادل الحراري بالتوصيل
Thermal exchange with convection currents	التبادل الحراري بتيارات الحمل الحراري
Evaporation cooling	تبريد الهواء بالتبخير
Thermal stratification	التدرج الحراري
Glazing	التزجيج
Evaluation of thermal comfort	تقييم الراحة الحرارية
Thermal balance	التوازن الحراري
Radiation Temperature	الحرارة الإشعاعية
Scenarios	الدراسة والسيناريوهات
Thermal comfort	الراحة الحرارية
Air Relative humidity	الرطوبة النسبية للهواء
Thermal stack effect	السحب الحراري
Geothermal	السعة الحرارية لسطح الأرض
Fossil energy	الطاقة الأحفورية
Thermal comfort factors	عوامل الراحة الحرارية
Physiological factors	العوامل الفيزيولوجية
Thermal gain	الكسب الحراري
Simulation	المحاكاة
Software inputs	مداخل النموذج الذاتية
Thermal sensation index	مؤشر الاحساس الحراري
Indicators	مؤشرات
Metabolic activity	النشاط الأيضي
Individual Activity	نشاط الفرد
The adaptive model	النموذج الذاتي
The objective model	النموذج العقلاني

مقدمة عامة

مقدمة عامة

مقدمة

يعتبر التغير المناخي من التحديات البيئية التي تواجه الإنسانية في القرن الواحد والعشرين، والذي تساهم المباني بجزء كبير منه من خلال انبعاث غازات الدفيئة نتيجة إستهلاك ما يقارب 40 % من إجمالي الطاقة المستخدمة من قبل البشر، ما أدى إلى تكريس العديد من الأبحاث في مجال زيادة كفاءة استخدام الطاقة في البيئة المبنية. حيث تمثل إستراتيجيات العزل، تقنيات التزجيج (Glazing)، التصميم البيئي وتقنيات الطاقة المتجددة بعضًا من أهم هذه التقنيات، وهي إجراءات تتمحور حول كونها حلولاً تقنية يجب أن تأخذ إحتياجات وتكيف الشاغلين بعين الإعتبار للوصول للغاية المرجوة، وهي توفير الراحة خصوصاً الحرارية منها، بأقل تكلفة طاوية³ باعتبار آليات التبريد والتسخين تساهم بـ: 60 % من إجمالي الطاقة المستهلكة في المباني¹.

وقد عرفت منظمة "الصحة العالمية" (WHO) الراحة الحرارية بأنها "الظرف ومجموعة الشروط التي تجعل الأشخاص راضيين عن المجال الحراري"، كما أقرت أن "الصحة هي حالة شاملة لمجموعة من الجوانب الفيزيائية، و الذهنية وحتى الإجتماعية وليست فقط حالة عدم المرض"². وقد عرفت المؤسسة الأمريكية للتبريد والتسخين "آشري" (ANSI/ASHRFA-55)³ بأنها "حالة ذهنية تعبر عن مقدار الرضا في الوسط الحراري". وهو مفهوم مرتبط بعدة عوامل بيئية تتعلق بالمحيط الحراري وخصائصه، وعوامل ذاتية تتعلق بشاغلي المجال.

يساهم استخدام التكييف الآلي في تلويث البيئة من خلال غازات الدفيئة الناتجة عن انبعاث غاز الكربون نتيجة حرق الطاقة الأحفورية إضافة إلى خطورة الغازات المستخدمة في تكوين أجهزة التكييف القديمة

¹ Jomehzadeh, F. (2017). A review on wind catcher for passive cooling and natural ventilation in buildings, Part 1: Indoor air quality and thermal comfort assessment. *Renewable & S. E. R.*, 70, 736–756.

² World Health Organization (WHO). (1999). *Health is a state of complete physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity.* 42nd ed. Geneva: World Health Organization;.

³ American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc, ANSI/ASHRAE Standard 62.13, 2013. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality (USA).

على طبقة الأوزون في حين أن استخدام الغازات المعروفة بالصديقة للبيئة في الآونة الأخيرة تشكل خطراً على شاغلي الحيز في حالة تسربها باعتبارها غازات سامة أو قابلة للإلتهاب¹.

كما أن استخدام التبريد بمختلف أنماطه بشكل غير مدروس من شأنه تعريض فئة كبيرة من الناس: كبار السن، المصابون بالأمراض التنفسية، أمراض الأوعية الدموية والمفاصل إضافة إلى الذين يعانون من السمنة وأمراض السكري إلى مخاطر صحية نتيجة ما يسمى بالصدمة الحرارية².

وبناء عليه فإن الفهم المناسب للراحة الحرارية والعوامل المؤثرة فيها من شأنه المساعدة على التحكم في التبريد بمختلف أنماطه وبالتالي خفض الإستهلاك الطاقوي وأعبائه الإقتصادية والبيئية نتيجة استخدام المكيفات إضافة إلى التعامل مع مختلف أنماط التبريد بعقلانية لتفادي المخاطر الصحية الناجمة عن الإفراط في التبريد بشكل عام.

تعتبر سرعة الهواء واحدة من أهم العوامل الفيزيائية ذات التأثير المباشر على الإحساس بالراحة الحرارية وذلك بالنظر إلى نتائج العديد من الدراسات الميدانية التي درست تأثير سرعات الهواء المختلفة على الإحساس بالرضا في المحيط الحراري خصوصاً في المناخ الحار من أمثال دراسة "دو دير" (de Dear)³ الذي درس تأثير التهوية الطبيعية على الراحة الحرارية في المناخ الحار الرطب و"أوجبانا" (Ogbanna)⁴ الذي درس تأثير التهوية في المناخ الحار الجاف، بالإضافة إلى أعمال "موداست" (Modest)⁵ و"كومار" (Kumar)⁶.

¹ مركز العمل التنموي / معاً. (سبتمبر، 2012). أثر غازات أجهزة التكييف في التسخين العالمي أكبر بآلاف المرات من تأثير ثاني أكسيد الكربون. مجلة الكترونية شهرية تصدر عن مركز العمل التنموي / معاً، 47. من: www.maan-ctr.org/magazine/Archive/Issue47/topic13

² Dr Cardenas, J. (June 21, 2017). *Climatisation et santé : les précautions d'usage*. Retrieved December 24, 2018, from <http://www.doctissimo.fr/html/dossiers/travail/articles/13735-risques-climatisation.htm?fbclid=IwAR1zvyr7QTXzMG77aB7ZOX4sM8YHn0ewZkoEKLd-8zg8Svlh14A0aoOWgFI>

³ de Dear, R. J. et al. (1991). Thermal Comfort in the Humid Tropics: Field Experiments in Air Conditioned and Naturally Ventilated Buildings Singapore. *International Journal of Biometeorology*, 34, 259-265.

⁴ Ogbonna, A. C., Harris, D. J. (2008). Thermal Comfort in Sub-Sahara Africa: Field Study Report in Jos-Nigeria. *Applied Energy*, 85 (1), 1-11.

⁵ Modeste, K. N., Tchinda, R., Ricciardi, P. (2014). Thermal comfort and air movement preference in some classrooms in Cameroun. *Revue des Energies Renouvelables*, 17 (2), 263-278.

⁶ Kumar, S., Singh, M. K., Loftness, V., Mathur, J., Mathur, S. (2016). Thermal comfort assessment and characteristics of occupant's behavior in naturally ventilated buildings in composite climate of India, *Energy Sustain*, 33, 108-121.

وقد قام العديد من الباحثين بدراسة تأثير نوعية النشاط وظروفه على الشعور بالراحة الحرارية وعالجوا مجموعة من الأنشطة الخاصة لشاغلي الحيز المعماري إبتداء من النوم كنشاط في بحث "كريس" (Chris)¹ ودراسة "مايكوت" (Maykot)² لمباني المكاتب وقام "داركس" (Derks)³ بدراسة الراحة الحرارية في المستشفيات. وتندرج هذه الأبحاث وغيرها في سياق تحديد أكثر دقة لمجالات الراحة الحرارية في المباني المدروسة بغية الوصول إلى تحكم طاقوي أكثر كفاءة.

وفيما يخص مباني المساجد فقد ذهبت العديد من الأعمال إلى التطرق للإستهلاك الطاقي لأغراض التبريد من أمثال "محمد" (Mohammad)⁴ وأعمال أخرى عالجت موضوع تأثير المناخ على عمارة المسجد كدراسة الباحث "فارزاني" (Varzaneh)⁵ الذي تطرق في بحثه إلى أنماط الحماية من قسوة المناخ بالإعتماد على تصميم الظل. وفي ذات السياق قدم "دجوميزادي" (Jomehzadeh)⁶ مقالة نظرية إستعرض فيها تاريخ ومختلف أنماط أبراج الهواء المزودة بنظام للتبخير كإحدى أفضل إستراتيجيات تبريد الهواء في المناطق الحارة الجافة والتي من ضمنها بعض مباني المساجد.

في حين أن الأبحاث التي درست الراحة الحرارية في مساجد المناخ الحار الجاف وعلى قلتها من أمثال الورقة البحثية ل: "العجمي"⁷ قد تعاملت مع حالات تحت تأثير التكييف الآلي. في الوقت الذي غابت فيه أية مراجع بخصوص تصنيف تأثير سرعات الهواء على الإحساس الحراري لذات المبنى.

وبناء على ما سبق تظهر أهمية موضوع فهم الراحة الحرارية وتحديد تأثير حركة الهواء على الإحساس الحراري في مساجد المناخ الحار الجاف من أجل توفير بيئة حرارية مريحة بعيدا عن مظاهر الإسراف في إستخدام الطاقة لأغراض التبريد وما يترتب عنها من تكاليف إقتصادية وبيئية باعتبار معظم العالم الإسلامي يقع ضمن نطاق المناخ الحار.

¹ Chris, L., Sleep, H. G. (2013). Thermal comfort and the energy saving potential due to reduced indoor operative temperature during sleep. *Building and Environment*, 59, 91-98.

² Maykot J K, Rupp R F, Ghisi E. (2018). "OP.cit".

³ Derks, M. T. H., Mishra, A. K., Loomans, M. G. L. C., Kort, H. S. M. (2018). Understanding thermal comfort perception of nurses in a hospital ward work environment. *Building and Environment*, 140, 119-127.

⁴ Mohammad, S. et al. (2009). Assessment of monitored energy use and thermal comfort conditions in mosques in hot-humid climates. *Energy and Buildings*, 41, 607-614.

⁵ Varzaneh, E. H., Amini, M., Bemanian, M. R. (2014). Impact of Hot and Arid Climate on Architecture (Case Study: Varzaneh Jame Mosque). *Procedia Engineering*, 94, 25-32.

⁶ Jomehzadeh, F. (2017). "OP.cit".

⁷ Al-ajmi, F. F., Al-azmi, A. S., Alrashidi F. A. (2017). Indoor Environmental Quality in Air-conditioned Mosque Buildings in Kuwait. *American J. of Civil Engineering and Architecture*, 5(4), 167-173.

الإشكالية

يعتبر التكييف أكبر مستهلك للطاقة في المساجد بحكم موقع معظم العالم الإسلامي في المناطق الحارة خصوصا مع غياب آلية واضحة لمراقبة عملية التصميم في أجزاء واسعة من العالم الإسلامي والجزائر ليست إستثناء، الأمر الذي أدى بالمصممين إلى تبني أنماط معمارية مختلفة، دون مراعاة خصائص المناخ المحلي وراحة المصلين. وهو ما يخالف المقصد الأساسي للمسجد كمكان للخشوع من جهة وله رمزية مؤثرة في المجتمع والتي يجب الإستفادة منها في زيادة الوعي العام بضرورة عدم الإسراف في إستهلاك الطاقة والحفاظ على البيئة¹ في 02-06-2018 صرح وزير الداخلية الجزائري² بأن المساجد هي أكبر مستهلك للطاقة الكهربائية على مستوى البلديات خصوصا في الجنوب حيث المناخ الحار الجاف ودعى بالتالي إلى ضرورة تغيير أنماط إستهلاك الطاقة على مستوى هذه المباني التي يتجاوز عددها خمسة عشر ألف 15000 مسجد موزعة على كامل ولايات الجزائر³. ويطغى المناخ الحار الجاف على معظم مساحة الجزائر وذلك بنسبة تتجاوز 80 % أي حوالي 2 مليون كم².

يمكن أن يساهم الفهم المناسب لتأثير عوامل الراحة الحرارية والعلاقة بينها داخل قاعة الصلاة في توفير بيئة مريحة ومناسبة للخشوع بأقل اعتماد ممكن على التكييف الألي وبالتالي خفض التكاليف الطاقوية والبيئية للمساجد.

تصاميم المساجد في البيئة الحضرية التقليدية تحتوي على أجزاء مغطاة وأخرى مفتوحة وهي مستوحاة من تصميم المسجد النبوي⁴. هذا التصميم مناسب للمناطق الحارة حيث تم إستخدام الجزء المفتوح أو الفناء للصلاة بعد غروب الشمس خلال المواسم الحارة. في دراسة قام بها "ابراهيم" (Ibrahim)⁵ أكد بأن إستخدام الساحات الخارجية للصلاة في منطقة الدراسة ذات المناخ الحار الجاف بالسعودية قد خفض 30 % من تكاليف تكييف الهواء.

¹ مباركي، ع. (2013). التهوية وتقنيات التبريد الطبيعي في عمارة المساجد، ص7. جامعة قسنطينة: جامعة قسنطينة.

² [https://www.djazairiss.com/elbilad/284438.\(02-06-2018\)](https://www.djazairiss.com/elbilad/284438.(02-06-2018)).

³ سوكو، ن. (2014، ديسمبر 15). المساجد الجزائرية على الهامش. جريدة الخبر الجزائرية.

⁴ Nacer, A, (2004). Strategies for rationalizing electricity consumption in mosque buildings. *Architecture and planning, 1*, 177-209.

⁵ Ibrahim, B. (2002). The role of the courtyard of the mosque in the rationalization of electricity onsumption. *Architecture and planning, 1*, 1-17.

مع بداية إحتفاء هذه الساحات لغرض توسيع قاعات الصلاة بسبب الكثافة العالية للسكان خاصة وسط المدن، وبالتالي أداء جميع الصلوات داخل المبنى. ارتفعت أحمال التبريد. وهي نفس الظاهرة التي تعاني منها مساجد الجنوب الجزائري ذات المناخ الحار الجاف من أمثال مدينة "وادي سوف" والتي وبحسب تقارير شركة توزيع الكهرباء قد إرتفع إستهلاكها للطاقة¹ بين سنتي 2015 و 2017 بمقدار 51 % ومن أسباب ذلك ظاهرة إحتفاء الساحات الخارجية المخصصة للصلاة الليلية في المباني الحديثة التي بنيت على أنقاض المساجد القديمة.

وقد برز بديل جديد ليحل محل الباحات الخارجية للمساجد إستجابا لحركة الهواء وهي القباب المتحركة التي ظهرت أول الأمر في المسجد النبوي لتعرف بعدها إنتشارا في العديد من المناطق الحارة مثل مدينة وادي سوف بالجزائر ذات المناخ الحار الجاف وذلك في مسجد "أبي موسى الأشعري" وسط المدينة والذي تم بناءه على أنقاض المسجد العتيق واستبدل الفناء الخارجي المخصص للصلاة بإنشاء قبة متحركة نظرا للحاجة لتوسيع قاعة الصلاة والقبة مصممة لدعم الراحة الحرارية خلال صلوات ما بعد الغروب (الفجر، المغرب والعشاء) عندما تسمح الظروف المناخية بذلك.

وبالنظر إلى عدة أبحاث من أمثال "كراولي" (Crawley)² فإن إستخدام القبة ذات الفتحات من شأنها دعم التهوية الرأسية تحت تأثير المدخنة الحرارية وضغط الرياح. وتبقى القبة بحاجة إلى مصادر للهواء البارد لدعم كفاءة التهوية الرأسية، كما لا يمكن إستخدامها في وجود الرياح الرملية، والتي تكثر في فصلي الربيع والخريف. ولذلك سنستفيد من وجود القبة كأداة للدراسة وليست كحل للمشكلة، حيث أن أي إجراء للتبريد باستخدام التهوية بحاجة لفهم تأثيرها على حدود الراحة الحرارية للمستخدمين خلال المرحلة الحارة من العام بالمناخ المحلي لذات البناء. وبناء عليه تطرح الإشكالية التالية:

كيف تؤثر حركة الهواء على كفاءة البيئة الحرارية في قاعات الصلاة بالمناخ الحار الجاف؟
وتقسم بشكل تساؤلات فرعية متسلسلة:

- ما هي حدود تأثير سرعات الهواء على مجالات الإحساس الحراري في مساجد المناخ الحار الجاف؟
- كيف تؤثر مجالات الراحة الحرارية المستخرجة على أحمال التبريد؟

¹ اليوم الدراسي الموجه لأئمة المساجد حول ترشيد استهلاك الكهرباء. (2018، جوان 02). من تقرير مديرية سونغاز.

<https://www.djazairss.com/elbilad/284438>

² Crawley, D. B., Hand, J. W., Kummert, M., Griffith, B. T. (2008). Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and Environment.*, 43(4), 661-673.

- ما هي حدود استخدام التبريد بالتبخير مع الحفاظ على دقة مجالات الراحة المستخرجة؟
- ما مدى تأثير مجالات الراحة الحرارية المستخرجة على الصحة المباشرة للمستخدمين؟

الفرضيات

- للإجابة عن التساؤلات السابقة تطرح الفرضيات التالية كأساس بحثي:
- يحتاج تحقيق الإحساس بالرضا في الوسط الحراري ذو الكثافة المرتفعة إلى ضمان سرعات هواء مرتفعة نسبياً.
- إدراج تغيير مجالات الراحة الحرارية بدلالة سرعة الهواء من شأنه دعم التحكم الطاقوي في برجة التكييف لغرض التبريد.
- زيادة سرعة الهواء من شأنها خفض الفارق الحراري الضروري لتوفير الإحساس بالراحة الحرارية وبالتالي توفير جو صحي.

الأهداف

أهداف على المدى البعيد:

- توظيف المسجد في نشر الوعي بضرورة ترشيد إستهلاك الطاقة والحفاظ على البيئة باعتبار المسجد مركزاً مؤثراً في نشر الثقافة في العالم الإسلامي، وذلك من خلال إستخدامه كقدوة بنائية حسنة.

أهداف على المدى القريب:

- توفير أكبر قدر من الراحة الحرارية في المرحلة الصيفية، من خلال تصنيف تأثير التهوية على مجالات الإحساس الحراري لإستخدامها في توفير الطاقة.
- التقليل من الفارق الحراري بين الداخل والخارج عند توفير الراحة الحرارية لتفادي مخاطر الصدمة الحرارية.

المنهجية

تطرق البحث إلى دراسة موضوع: الراحة الحرارية وتأثير حركة الهواء في مساجد المناخ الحار الجاف. هذه المباني التي تمثل مركز البيئة العمرانية الإسلامية لما تمتاز به من دور جوهري في المجتمع المسلم فالمسجد ليس مكاناً للعبادة فحسب بل هو مدرسة ومعهد للعلوم والأدب، فاهتم المسلمون بأن يكون بناؤه تعبيراً صادقاً

عن قيم الدين في كونه مبنى وظيفي وبيئي شأنه في ذلك شأن المسكن التقليدي المتوافق مع البيئة بكل إيجابياتها وسلبياتها. إلا أنها في الآونة الأخيرة تعرف تراجعاً كبيراً في علاقتها مع محيطها المحلي ما أدى إلى اعتمادها بشكل أساسي على تقنيات التبريد الآلي في توفير الراحة الحرارية في الفترة الحارة من العام، ومع غياب فهم دقيق لتأثير حركة الهواء على مجالات الراحة الحرارية بقيت المساجد مستنزفة للطاقة لأغراض التبريد فارتكز البحث على الهيكلية التالية :

يشمل البحث ستة فصول مرتبة وفق جزأين: جزء نظري لتوضيح وضبط أهم المصطلحات والمفاهيم الأساسية التي تُخدم سيروية البحث المقدم، وجزء تطبيقي ليخدم القيمة المضافة للبحث، وهي مرتبة كما يلي:

الجزء النظري "الفصل الأول، الثاني والثالث"

سيتم التطرق في الفصل الأول إلى "عمارة المساجد وتأثير المناخ الحار الجاف" ويتضمن مفهوم المسجد كمركز لنشر الوعي، بالإضافة إلى مفهوم الوحدة والتنوع، ثم وصولاً إلى تأثير المناخ الحار الجاف في تصميمها لغرض مواجهة الإجهاد الحراري.

الفصل الثاني بعنوان "مفاهيم ودراسات حول الراحة الحرارية داخل المبنى"، للتعريف بعناصر المحيط الحراري وأهم العوامل الفيزيائية والذاتية المؤثرة على الإحساس بالراحة الحرارية. ويستعرض لذلك أحدث الأبحاث في مجال تقييم الراحة الحرارية وتأثير التهوية وذلك بما يناسب موضوع الدراسة.

أما الفصل الثالث فيعالج مسألة "دور التهوية في تحسين الأداء الطاقوي صيفاً"، ويستهلها بمشكلة الإستهلاك الطاقوي لأغراض التبريد في المناخ الحار الجاف، ثم التطرق لأنجع الطرق الطبيعية المتداولة للتبريد باستخدام التهوية في ذات المناخ.

المرحلة التطبيقية: "الفصل الرابع، الخامس والسادس"

ترتكز الدراسة على الفرضيات الفرعية المطروحة في الإشكالية وتقسّم إلى جزأين كما يلي:

تأثير سرعة الهواء على مجالات الراحة الحرارية: (الفصل الرابع والخامس)

وهي الدراسة الميدانية التي تشكل أساس البحث حيث يحوي الفصل الرابع "حالة وأدوات الدراسة" بحيث يقدم تبريراً لإختيار الحالة بما يمنح الدراسة بعداً مخبرياً لعينات واقعية في بيئتها. إضافة إلى إستعراض أدوات الدراسة وهي: "الدراسة بالقياس" إضافة إلى "الدراسة بالإستبيان".

في حين يقدم الفصل الخامس مختلف نتائج الدراسة الميدانية وتحليلها بشكل مفصل وصولاً إلى إستخراج معادلات للإحساس الحراري وفق عتبة لسرعات الهواء.

ترجمة النتائج: (الفصل السادس). وهو جزء مكمل للدراسة الميدانية وينطلق من نتائجها.

1. تأثير نتائج الدراسة الميدانية على أحمال التبريد.

بالإعتماد على برنامج المحاكاة (EDSL-TAS) للتقييم الكمي للإستهلاك السنوي وذلك وفق عدة حالات وفق ما يقتضيه البحث.

2. تعيين حدود لإستخدام التبريد بالتبخير حفاظا على دقة التوصيات.

بإستخدام تطبيق لحساب حركة الموائع CFD لبرج تبريد بالتبخير.

3. تأثير نتائج الدراسة الميدانية على صحة المصلين.

بإستخدام التقييم اليدوي إعتمادا على جداول إنطلاقا من توجيهات مراجع طبية.

الفصل الأول:

عمارة المساجد في المناخ

الحار الجاف

الفصل الأول: عمارة المساجد في المناخ الحار الجاف

المقدمة

إن المتأمل في مبادئ الإستدامة، يرى بأن الفكر الإسلامي قد تبنها ضمن جوهر العديد من الأحكام والقواعد الفقهية منذ عدة قرون، من خلال الدعوة لإحترام البيئة وترشيد إستهلاك الموارد والتقليل من التلوث، إنطلاقاً من نظرة الفكر الإسلامي للكون بأنه أثر من آثار قدرته وعظمته، فأوجب علينا المحافظة عليه وحرمة الفساد، مصداقاً لقوله تعالى: " **وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا**"¹.

تعتبر المساجد أقدم العمائر الإسلامية وأكثرها إرتباطاً بالإسلام، فهي مكان إقامة الصلاة، ولها الدور المحوري في العديد من مظاهر الحياة الإجتماعية والثقافية. فاهتم المعماريون المسلمون بأن يكون بناؤها تعبيراً صادقاً عن القيم الدينية.

وقد كان مسجد الرسول "صلى الله عليه وسلم" مثالا عن العمارة البيئية من حيث التصميم البسيط والوظيفي وهو عبارة عن جزأين: جزء مسقوف ويمثل قاعة الصلاة، وجزء مفتوح ويمثل الصحن، أما مواد البناء فهي مما تزرع به المدينة المشرفة من مواد محلية مثل الطين وجذوع النخيل والسعف. ونتيجة إمتداد الإسلام في مناطق مناخية متنوعة، فقد إختلفت المعالجات المعمارية التي كانت من بين أهدافها الوصول إلى توازن مع البيئة المناخية.

1. عمارة المساجد

1.1. مفهوم المسجد

عرفه الباحث الخضيرى² بأنه "المبنى الموقوف المخصص للصلوات الخمس المفروضة، وغيرها" وهو تعريف يحدد المباني المعدة للعبادة فعلياً ويتجاوز تعريف "الزراشي" الذي عرفه بأنه "الموضع من الأرض" والذي اعتمد في تعريفه على حديث النبي صلى الله عليه وسلم "جعلت لي الأرض مسجداً وطهوراً"³. وقد اصطلح على تسمية المسجد للمباني التي تؤدي فيها الصلوات الخمس (اليومية)، والجامع يشمل المساجد التي تؤدي فيها صلاة الجمعة، مع أن أغلب المساجد في الجزائر تؤدي فيها صلاة الجمعة وهي بذلك جوامع في

¹ القرآن الكريم، سورة الأعراف، الآية 56.

² الخضيرى، إ. ب. ص. (١٤٢١ هـ). أحكام المساجد في الشريعة الإسلامية. ج ١ ط ٢. الرياض: دار الفضيلة للنشر والتوزيع.

³ البخاري، م. ب. إ. (١٤١٩ هـ). صحيح البخاري من رواية جابر بن عبد الله، حديث رقم ٤٣٨. الرياض: بيت الأفكار الدولية.

أغلبها. يعتبر المسلمون المساجد بأنها بيوت الله حيث يذكر فيها اسمه وتقام الصلاة لله، والمسجد في صورته المجردة هو مساحة تسوى وتطهر، ليتم بعدها تعيين اتجاه القبلة فيها لإقامة الصلاة، وقد يحاط بسور، أو تفرش الحصى أو الحصر أو البسط الغالية، وقد تقام فوقها المبان الضخمة ذات القباب والمآذن أو لا يقام من ذلك شيء. ويظل المسجد البسيط مكانا مقدسا، لا يقل في مكانته وهيئته عن المساجد الضخمة¹.

2.1. الدور الاجتماعي والثقافي للمسجد

تعتبر الخطبة في المسجد والتي تتزامن مع نهاية كل أسبوع، في ظهيرة يوم الجمعة، أحد أكثر الوسائل فعالية في نشر الدعوة الإسلامية، حيث أنها تتبوأ في الإسلام مركزا مهما في نشر الدعوة وتبليغها للناس منذ بدء الرسالة المحمدية، فالخطبة أسرع إلى فهم العامة وأبلغ في التأثير على الجميع. كما أن لها مفعولا مباشرا وسريعا في توجيه الرأي العام².

لقد قدمت عمارة المساجد التقليدية نماذجا يقتدى بها اجتماعيا في تحديد ماهية علاقة المجاورة في البناء، فنجد مثلا أنه يراعى عند انشاء المآذن عدم الاكثار من النوافذ بل وتستبدل في عدة حالات بشقوق مائلة باتجاه الأعلى لحماية لخصوصية الجيران فكان المسجد وهو بيت الله لا يسمح فيه بالتعدي على الجار فمن باب أولى أن لا تتعدى مساكن الناس على حرمت الآخرين وبناء عليه يمكن توظيف العمارة البنائية للمسجد كقدوة يجب الاستفادة منها في نشر ثقافة العمارة السليمة³.

3.1. عمارة المساجد بين الثوابت والمتغيرات

لقد ورد في العديد من المراجع المهتمة بعمارة المساجد من أمثال يحيى وزيري⁴ على أن أبنية المساجد في سائر المعمورة تشترك في المضمون المتمثل في العناصر التي كان عليها بناء مسجد النبي صلى الله عليه وسلم، في حين قد عرفت أشكال هاته العناصر تنوعا في المعالجة باختلاف المناخات والثقافات كما أدرجت بمرور الحقب العديد من العناصر المعمارية والتي اصطلاح على تسميتها بالعناصر المتغيرة. مع الاشارة هنا إلى الاهتمام بالعناصر الأساسية دون الالتفات للعناصر الهيكلية والزخرفية.

¹ مؤنس، ح. (1981). المساجد. ص31. الكويت: المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب.

² السدلان، ص. ب غ. (1419هـ/1999م). الأثر التربوي للمسجد، ص10. الرياض: وزارة الشؤون الدينية والأوقاف والدعوة والإرشاد.

³ نوبي، م. ح. (2002). عمارة المسجد في ضوء القرآن والسنة، ص105. القاهرة: دار نفضة الشرق.

⁴ وزيري، ي. (2004) العمارة الإسلامية والبيئة. سلسلة عالم المعرفة. الكويت: مطابع السياسة.

1.3.1. العناصر الثابتة

1.1.3.1. الحرم (قاعة الصلاة)

يعتبر الجزء الأهم في بناء المسجد حيث تقام به الصلاة والخطب، فهو يحوي جدار القبلة والمحراب والمنبر، وقد يكون عبارة عن رواقين أو يمتد ليشغل نصف المساحة أو أكثر¹.

وتقام الصلاة بشكل صفوف موازية لجدار القبلة تتخللها مسافة تكفي للسجود (وضع الرأس والكفين والركبتين على الأرض)، وهو الثابت من حيث التوجيه، وتعتبر تسوية الصفوف من أركان صلاة الجماعة مصداقا لقول رسول الله صلى الله عليه وسلم " سووا صفوفكم فان تسوية الصفوف من تمام الصلاة"².

وتعتبر الصفوف الأولى أكثر تفضيلا عن سواها، خصوصا الصف الأول وذلك مصداقا لقول النبي الكريم " ولو يعلمون ما في الصف الأول لاستهموا"³.

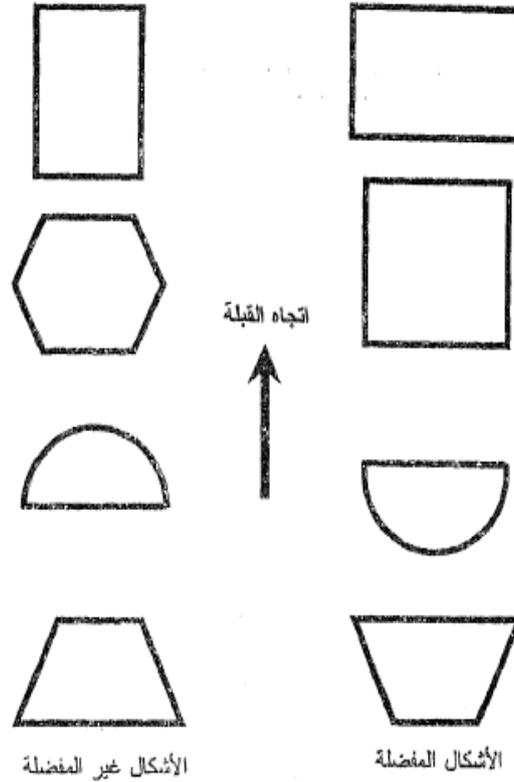
وبناء عليه ظهر الاهتمام بقضية شكل القاعة من باب تفضيل بعض الأشكال التي تسمح باستطالة الصفوف الأولى على غيرها⁴، فمستطيل الشكل وشبه المنحرف المواجه بقاعدته الكبرى للقبلة هي أكثر الأشكال ملاءمة لهذه القاعدة. الشكل 1.1. يبين مقارنة بين التوجيه المفضل والغير مفضل لبعض الأشكال الهندسية.

¹ مؤنس، ح. (1981). المرجع السابق، ص61.

² البخاري، م. ب. إ. (أعادة الطبع 1412هـ). صحيح البخاري كتاب الأذان باب إقامة الصف من الصلاة (729). بيروت: دار الكتب العلمية.

³ البخاري، م. ب. إ. المرجع السابق كتاب الأذان باب الصف الأول (727).

⁴ نوبي، م. ح. (2002). المرجع السابق. ص105.



الشكل 1.1. بعض الأشكال المفضلة والغير مفضلة لقاعة الصلاة.

(المصدر: نوي محمد حسن 2002)

أما بخصوص الموقع فإن مسألة الأرضية المختارة يراعى فيها أن تكون صالحة وطاهرة في أصل الملكية وعلاقتها بالمقابر والمساجد القريبة، وهو الثابت، أما شكل الأرضية فتختار بحيث تراعى علاقتها بالمناطق السكنية في إطار الموضع المتوسط للمسجد الجامع ليكون قريباً من حيث الوصولية من أطراف المنطقة السكنية التي بني لأجلها. وهو المتغير تبعاً لتوفر الأرضية وشكلها ومساحتها.

والعنصر الثابت في الهيكلية هي الأساسات والحوائط والأرضية والسقف باعتبارها أساس قيام القاعة، أما المتغير هنا فهو الأعمدة، العقود، الأقواس المتنوعة في أشكالها وأسس إقامتها فقد أبدع المعماري المسلم في تصميمها وإقامة القباب عليها¹.

وتقسم قاعة الصلاة إلى أروقة عرضية موازية لجدار القبلة وأروقة عمودية، وذلك بواسطة الأعمدة وعادة ما يكون الرواق الأوسط المؤدي إلى المحراب أوسع الأروقة، وهو ما يسمى بالرواق الرئيسي.

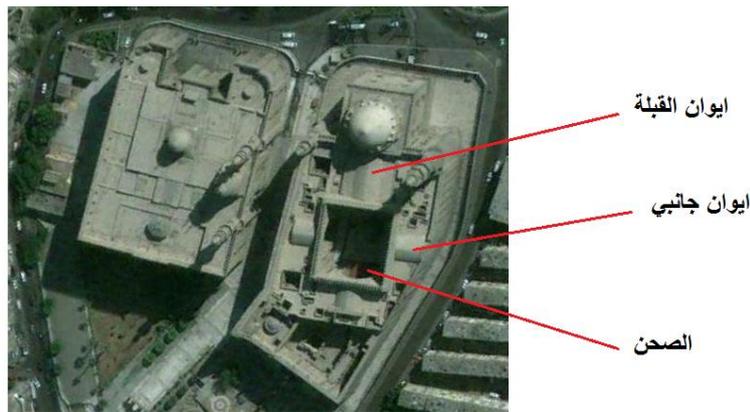
¹ مؤنس حسين، (1981). المرجع سابق، ص 61.

من أجل أداء مبنى المسجد لوظيفته كمجال تعبدية، هناك ثوابت حسية لا بد أن تتوفر لتوفير جو يساعد على الراحة والخشوع. والمتمثلة في وصول صوت الإمام بشكل واضح وإضاءة مناسبة وظروف حرارية ملائمة. أما التنوع في هذا السياق فيكمن في كفاءات توفير هذه الظروف، خاصة مع التقنيات المتطورة التي أتاحت أنماطا متنوعة من الإضاءة، التهوية والصوت، فنجد مثلا في مجال التهوية أنه قد تم إستخدام تقنيات التهوية الصناعية من خلال المراوح وأجهزة التكييف، أو حتى تطوير تقنيات للتهوية الطبيعية التقليدية مثل فكرة ملاقف الهواء في مسجد "سكاكا" في منطقة الجوف، بالمملكة العربية السعودية.

وإستنادا على كل ما ورد ذكره يمكن تلخيص عملية تصميم قاعة الصلاة بأنها عملية ذات إتجاه وظيفي بالدرجة الأولى، أي أن التصميم ينطلق من الداخل بإتجاه الخارج أما الشكل الخارجي فيأخذ أي صورة طالما أنه يحترم مبدأ وقوف المصلين بشكل متراس ومستقبلة للقبلة، مع إعطاء الأولوية لإستطالة الصفوف الأولى متى أتيح ذلك.

2.1.3.1. الصحن

يعتبر الصحن أحد العناصر التي برزت أهميتها في تصميم المسجد النبوي بل أنه العنصر الثاني من حيث الأهمية، وهو فناء تحيط به الأروقة أو الجدران، كما يتصل بقاعة الصلاة والتي هي أكبر الأروقة المحيطة بالصحن¹. وقد كانت مساجد شرق العالم الاسلامي الأكثر اهتماما بمسألة إحاطة الصحن بأروقه ذات عمق بارز من الجهات الأربعة ويظهر ذلك جليا في مسجد بن طولون في القاهرة² ومسجد السلطان حسن كما يظهره الشكل 2.1.



الشكل 2.1. صورة جوية لجامع ومدرسة السلطان حسن بمصر وهي تبرز الصحن وسط البناء.

(المصدر: www.google earth.com)

¹ نوبي، م. ح. (2002). المرجع السابق. ص56.

² وزيري، ي. (1992). التعمير في القرآن والسنة. القاهرة.



الشكل 3.1. صورة علوية لجامع قرطبة وهي تبرز الصحن في الجهة الخلفية للبناء.

(المصدر: <http://andalousie2nd.blogspot.com>)

اهتم المسلمون بمعالجة الصحن ليتلاءم مع ثقافتهم وما عهدوه في مبانيهم وذلك بإختلاف المناطق التي وصل إليها الإسلام فنجد الصحن مزود بحوض مياه يستخدم للوضوء كما في مسجد ابن طولون بمصر أو بحوي نافورة تتوسط أرضية مبلطة كما في مسجد السلطان حسن من العهد المملوكي بمصر، أو قد تزرع بعض أجزائه في شكل أحواض للأزهار كما هو الحال في عديد مساجد إيران وتركيا¹ أما مسألة غرس الأشجار فقد كانت ميزة لبعض المساجد عن غيرها وذلك بحسب رأي الفقهاء في كل حالة بسبب إعتبار العديد منهم بأن كون الأشجار جالبة للطيور وما يترتب عن ذلك من تأثير على طهارة المسجد، فبالتالي وجودها في حكم الكراهة. وقد تم تخصيص أسفل الصحن لتخزين المياه حيث تستخرج عبر فتحات في الأرضية، ولعل مسجد جامعة الخرطوم في السودان هو أحدث هذه النماذج.

¹ وزيدي، ي. (2004). المرجع السابق، ص138.



الشكل 4.1. صورة لصحن مزود بمبضأة في وسطه بمسجد عمر بن العاص بمصر.

(المصدر: www.tourflag.com)

3.1.3.1 المنبر

يرتبط وجود المنبر بجدار القبلة، حيث كان في بادئ الأمر على عهد المسجد النبوي في بداياته جذع نخلة يعتليه النبي صلى الله عليه وسلم ليخطب في الناس، ليتم بعدها صناعة أول منبر خشبي بذات المسجد وهو مكون من درجتين ومقعد¹ وذلك بعرض 50 سم وطول وارتفاع قيمتهما 100 سم. والثابت هنا هو وجود مكان مرتفع في جدار القبلة دون مغالاة في أبعاده حتى لا يشغل حيزا كبيرا من مكان الصلاة². أما المتغير في تصميم المنبر إضافة لعدد درجاته وشكله، نجد كيفية بروزه وإخفائه فهناك المنبر الذي يوارى في خزانة بعد الاستخدام كما هو الحال في مسجد الإسكندرية أو يتحرك بمحور ليلاصق جدار القبلة كما هو حال مسجد الزيتونة² في تونس. أو قد يأخذ شكل شرفة تطل على قاعة الصلاة ويتم الوصول إليه من خلال درج مخفي خلف جدار القبلة كما هو الحال في العديد من المساجد الحديثة، وذلك بغية عدم شغل حيز الصلاة وتفادي عرقلة الحركة، بالإضافة الى البعد الجمالي.

4.1.3.1 المحراب

أصطلح على تسميته جدار القبلة، لأنه يستمد أهميته من كونه مكان صلاة الإمام متقدما المصلين في إتجاه القبلة، وعادة ما يكون في منتصف الجدار، والثابت أن تكون علامة تعبر على مكانه كما كان الرمح

¹ نوفل، م. ح. (1419هـ/1999م). المعايير التصميمية لعمارة المساجد، ندوة عمارة المساجد، ص91. الرياض: كلية العمارة والتخطيط.

² الزركشي. إعلام المساجد بأحكام المساجد. المرجع السابق، ص374.

المغروس تعبيرا على ذلك في مسجد النبي¹. فتعيينه يدل على إتجاه القبلة ليهتدي إليها من لم يعهد الصلاة في ذات المسجد. ويبرز التغيير في تنوع الأشكال التي عرفت تطورا وتنوعا كبيرين بإختلاف التوجهات المعمارية الإسلامية فرسمت بشكل هيئة باب في جدار القبلة، أو قد يكون تجويفا على شكل عقد، وقد يكون مجردا من الزخارف، أو محملا بنقوش الكتابة العربية للآيات الكريمة وأسماء الله.



الشكل 5.1. صورة لمنبر ومحراب جامع السلطان حسن في مصر. (المصدر: علياء عكاشة 2008)

2.3.1. العناصر الإضافية في عمارة المساجد

وتشمل كل العناصر المدرجة لاحقا في عمارة المسجد مع مرور الوقت، فهي لم تكن ضمن عناصر مسجد النبي صلى الله عليه وسلم وهي في الغالب تتعلق بالشكل والرمزية كالمئذنة والقبلة، أو ذات بعد وظيفي تكميلي لغرض تيسير الطهارة كدورات المياه والميضاة أو حتى المرشحات، وكل هاته العناصر تم قبولها طالما يلتزم فيها بالضوابط العامة للشريعة، وعلاقتها بقاعة الصلاة وجدار القبلة.

1.2.3.1. بيت الوضوء

بيت الوضوء وهي مكان الوضوء والذي هو من الناحية اللغوية مشتق من الوضوء أي الحسن والنظافة، ومن الناحية الشرعية في الإسلام هو طهارة مائية لأعضاء معينة بطريقة مخصوصة بنية التعبد والإستعداد للصلاة. ولم تكن الميضاة ضمن عناصر مسجد النبي والمساجد الأولى لأن أصحاب الرسول صلى الله عليه وسلم كانوا يذهبون للمسجد وهم متوضئين².

¹ إبراهيم بن صالح الحضيبي، (1999م). أحكام بناء المساجد في الشريعة الإسلامية. ندوة عمارة المساجد. كلية العمارة والتخطيط الرياض -13.

17 شوال. ص44.

² حماد، م.، سالم، م. ف. (1971). التشجير المعماري، ص38. القاهرة: مطبعة دار النشر للجامعات المصرية.

وقد أجاز علماء الدين الوضوء في المسجد على أن يكون في موضع لا يصلح فيه. وهو دليل على جواز إقامة الميضاة شرط أن لا تؤثر على طهارة قاعة الصلاة¹. مع بدايات ظهور الميضاة في المساجد كانت عبارة عن حوض يتوسط الصحن، ثم أنشئت بجوانبه لتجري العادة بعدها في المساجد الحديثة على إنشائها ضمن بناء خارجي مستقل يضم دورات المياه والمرشات، أو يخصص لها الطابق الأرضي وتقام قاعة الصلاة في الطابق الأول وكل هذا بغية تحري الطهارة لقاعة الصلاة وحمايتها من الروائح والرطوبة نتيجة قربها² ويسمى النموذج في الحالة الأخيرة بالمسجد المعلق تيمنا بالمساجد التي خصصت طوابقها الأرضية كوقف تجاري يخدم المسجد حيث يعتبر مسجد الصالح طلائع بمصر أول مسجد معلق.

2.2.3.1. القبّة

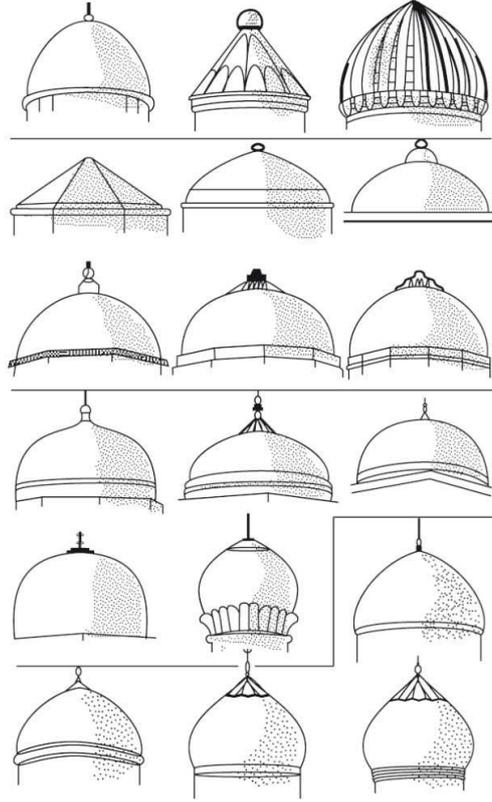
هي عنصر معماري أستعمل في عدة حضارات قديمة لتغطية المباني، خصوصا في بلاد ما بين النهرين حيث سادت تغطية المساكن الدائرية باستخدام القباب، بالإضافة إلى أماكن أخرى قد ثبت استخدامها فيها منذ الألف الرابعة قبل الميلاد وذلك في قبرص³. حيث اشتركت جميعها في كونها بناء ذو مسقط دائري محدبة من الخارج مفرغة من الداخل، مع إختلاف في التموضع والتجميع فقد استخدمت بشكل مستقل أو أحيطت بقباب صغيرة أو أنصاف قباب¹.

وقد عرفت أشكال القباب من الخارج تنوعا كبيرا، فمنها شكل نصف كرة، والشكل البيضاوي، البصلي، والهرمي. أنظر الشكل 6.1.

¹ نوبي، م. ح. (2002). المرجع سابق، ص 77.

² نوفل، م. ح. (1419هـ/1999م). المرجع السابق، ص 85.

³ عزوق، ع. ا. (1996م). القباب والمآذن في العمارة الإسلامية، ص 51. الجزائر: ديوان المطبوعات الجامعية.



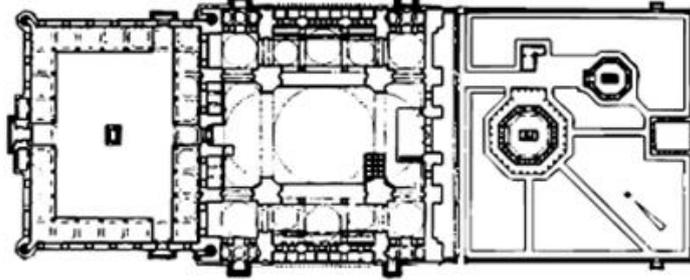
الشكل 6.1. أنواع أشكال القباب في العمارة الإسلامية (المصدر: عبد الكريم عزوق 1996)

وقد أنشئت أول قبة في العمارة الإسلامية ببيت المقدس عام 72هـ وقد كانت ذات هدف رمزي أما أول توظيف حقيقي لها لتغطية المساجد فكان أعلى المحراب للتأكيد على مكانته وأهميته، في المسجد الأموي بدمشق 132-133هـ، ثم المسجد الأقصى بالقدس عام 163هـ¹.

كما نجدها في آخر القاعة مطلة على الصحن وتسمى بلاطة البهو ونجد ذلك في مسجد تلمسان من عصر المرابطين، كما يمكن أن نجدها في طرقي جدار القبلة، أما في العصر العثماني، فقد ظهر طراز جديد سمي بطراز القبة المسيطرة حيث أصبحت قاعة الصلاة تغطي بقبة مركزية كبيرة تحيط بها قباب صغيرة كما في جامع الباشا بوهران². وفكرة التغطية مستوحات من كنيسة أيا صوفيا، حيث استوحى المهندس المعماري "سنان" وطالبه "محمد أغا" من تغطية الكنيسة في تطوير الفراغ الداخلي في إتجاهين بدلا من الإتجاه الواحد ليصل الفراغ الداخلي إلى درجة من التكامل نجدها في جامع السلطان أحمد في تركيا كما هو موضح في الشكل 7.1.

¹ وزيري، ي. (2004). المرجع السابق، ص 145.

² عزوق، ع. ا. (1996م). المرجع سابق، ص 08.



الشكل 7.1. مخطط لمسجد السلطان سليمان والقطاع الرئيسي منه.
(المصدر: حسين مؤنس 1981)

3.2.3.1 المئذنة

تعرف المئذنة لغة بأنها مكان الأذان للإعلام بدخول وقت الصلاة، وقد أستعمل المؤرخون عدة تسميات للدلالة عليها، ونظرا لأنها كانت تضاء بالأنوار خصوصا في رمضان من بعد الغروب إلى طلوع الفجر، أخذت إسم المنارة في مناطق كثيرة من العالم الاسلامي، في حين أطلق عليها سكان المغرب الاسلامي إسم الصومعة لأنها ذات قاعدة مربعة تشبه أبراج الصوامع¹. وقد كانت المآذن في القديم تؤدي وظيفة ثانوية أيضا تمثلت في إعلان بيانات الدولة وقرارات الحاكم.

وبالرغم من وجود جدل تاريخي حول تاريخ انشاء أول مئذنة إلا أن هنالك شبه إجماع على أن أول مئذنة في الإسلام هي مئذنة جامع البصرة عام 45هـ، عندما قام زياد بن أبيه بإعادة بناء الجامع، على نحو يتناسب مع توسع البصرة². والأکید هنا أنه مع مرور الزمن باتت المئذنة تشكل عنصرا معمارياً قائماً بذاته في العمارة الإسلامية، بل و باتت أحد أهم المؤشرات المستخدمة في تصنيف الطرز المعمارية الإسلامية فقد تنوعت تصاميمها وإرتفاعاتها، كما أبدعوا في الشكل الجمالي، الزخارف والنقوش الإسلامية، أما مساحة

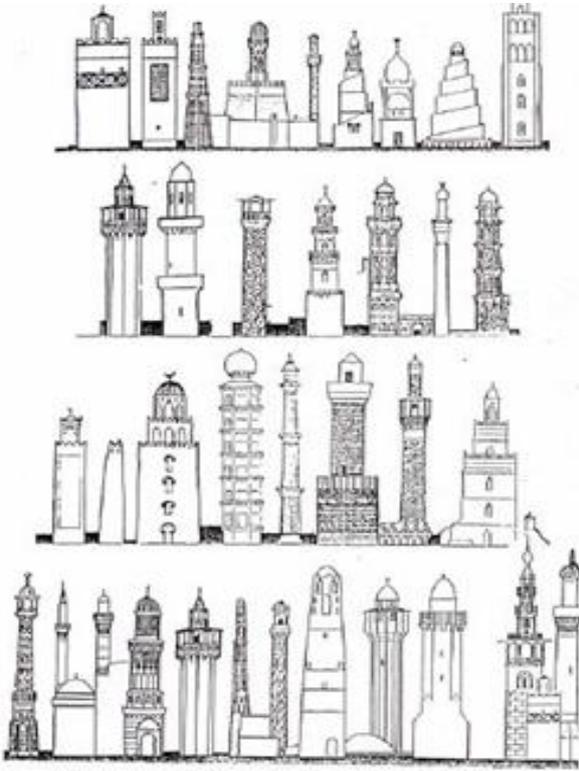
¹ الريحاوي، ع. ا. (1979). العمارة العربية السورية، ص 101. دمشق: وزارة الثقافة والإرشاد القومي.

² نوفل، م. ح. (1419هـ/1999م). المرجع السابق، ص 83.

المقطع فأخذت أشكالاً شتى ما بين المدورة والمضلعة والمربعة، وتناسب قاعدة المئذنة طرداً مع إرتفاعها، وبداخلها يوجد سلم حلزوني يصعد من خلاله المؤذن إلى شرفة المئذنة لينادي للصلاة.

تعتبر مئذنة مسجد "القيروان" بتونس، أقدم مئذنة في العالم الإسلامي على أساس إحتفاظها بخصائصها الأولية برغم التعديلات الغير الهيكلية التي طرأت عليها، وقد أنشئت بين عامي 724 - 729 م، وهي مثال لمآذن المساجد في المغرب الاسلامي والأندلس¹.

وفيما يخص موقع المئذنة في المسجد فإنه لا توجد قاعدة عامة فكان المعماري يضعها في المكان الأنسب من حيث اوصول صوت الآذان، وتساهم في البعد الجمالي، فقد تكون في مؤخرة المسجد أو في مقدمته أو على جانب منه وقد تكون ملتصقة ببيت الصلاة أو مستقلة عن المسجد².



ب



أ

الشكل 8.1. بعض أشكال المآذن أ. مسجد القيروان بتونس 627 م / ب. أشكال متنوعة من كل أنحاء العالم.

(المصدر: www.aspdkw.com/?p=3110088)

¹ وزيري، ي. (2004). المرجع السابق، ص 144.

² عزوق، ع. ا. (1996). المرجع السابق، ص 51.

2. نظرة الإسلام للبيئة والاستهلاك

المتأمل لمبادئ الإستدامة يجد أن الإسلام قد تبنها منذ قرون في مجموعة قواعد فقهية تهدف في مجملها لترشيد الإستهلاك والتقليل من التلوث، إنطلاقاً من نظرة الفكر الإسلامي للكون على أنه من تدبير الله، وأوجب المحافظة عليه ونبذ الفساد، مصداقاً لقوله تعالى: "وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا"¹. فموارد الطبيعة ليست ملكاً مطلقاً لأي جيل ليتصرف بها كيفما شاء، قال تعالى: "وَلَكُمْ فِي الْأَرْضِ مُسْتَقَرٌّ وَمَتَاعٌ إِلَىٰ حِينٍ"².

1.2. الحفاظ على الموارد

للفكر الإسلامي نظرة مستدامة إلى حق استغلال الموارد البيئية كالماء، الكلاً، النار، الغابات، الحيوانات البرية، الأسماك، الأراضي الخصبة، الهواء وأشعة الشمس، فهي حق مشترك بين جميع أفراد المجتمع. و في مقابل هذا الانتفاع يتوجب عليه أن يبقي على قيمتها دون إتلاف لأنها حق كل أفراد المجتمع³. حيث أن الإستغلال الذاتي البحت لموارد البيئة وإحداث ضرر بها وتغيرها أو إيقافها عن العطاء يعتبر أمراً محرماً في الإسلام⁴.

إن تطرقنا لنظرة الإسلام في التعامل مع الماء مثلاً كمورد حيوي في قوله تعالى "وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ"⁵ ودعا إلى الحفاظ على هذه النعمة بعدم الإسراف حيث قال الرسول صلى الله عليه وسلم لأحد أصحابه عندما مر عليه وهو يتوضأ: لا تسرف في الماء فقال الصحابي: هل في الماء إسراف؟ قال: نعم ولو كنت على نهر جار⁶ وهو ما يؤكد أن الإسلام قد نهى عن إسرافه في غير مصلحة وهو مفهوم النهي عن الإستنزاف الذي تدعو إليه الإستدامة في عصرنا.

¹ القرآن الكريم، سورة الأعراف، الآية 56.

² القرآن الكريم، سورة البقرة الآية 36.

³ يونس محمد أحمد، (2003). حماية البيئة في الفكر الإسلامي، ص 27. ندوة الثقافة والعلوم. دبي.

⁴ النجيمي، م. ب. ي. ب. ح. (2009). المرجع السابق.

⁵ القرآن الكريم، سورة الأنبياء، الآية 30.

⁶ النووي، أ. ز. ي. (أعادة الطبع 2002). رياض الصالحين من كلام سيد المرسلين. بيروت: مؤسسة المعرفة للطباعة والنشر.

وبناء على ما سبق يتضح أن الفكر الإسلامي قد سبق مفهوم التنمية المستدامة لمفوضية الأمم المتحدة في 1987 "الاستدامة هي التنمية التي تلبي احتياجات جيل الحاضر دون المساس بقدرة الأجيال المستقبلية على تلبية احتياجاتها"¹.

2.2. الحفاظ على الهواء

تؤكد العديد من الدراسات أن زيادة تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون وبعض الغازات في الغلاف الجوي يسبب ما يسمى بظاهرة الإحتباس الحراري، وهي إرتفاع حرارة الأرض حيث تشير الأبحاث إلى إرتفاع حرارة الهواء بمقدار 0.74°م خلال القرن المنتهي سنة 2005².

كما أن تلوث الهواء له من العواقب الخطيرة ما من شأنه التأثير على الجينات لمختلف الكائنات الحية، كما يؤثر الهواء الملوث على زيادة حالات الإصابة بأمراض الجهاز التنفسي والقلب والسرطان الرئوي³.

ويلخص كل ما سبق في القاعدة الفقهية العامة عن رسول الله: "لا ضرر ولا ضرار"⁴ وهي تأكيد واضح على على موقف الإسلام من تلويث الجو والهواء فهو يقرر أن الموارد والهواء نعم من الله لكل الكائنات الحية وبالتالي يجب المحافظة عليها وصونها من كل ضرر، والإضرار بهذه النعمة يقابل بالوقوف في وجه من يسببه ومنعه من الإستمرار في إعتدائه.

3. تأثير المناخ الحار الجاف في تصميم المساجد

يتأثر المبنى بغض النظر عن طبيعته ومكانه بطبيعة المناخ المحلي وكذلك بالمباني المجاورة مما يصقل شكله المعماري. كذلك الأمر بالنسبة للعمارة الإسلامية فبالرغم من تأثير النواحي الاجتماعية والإقتصادية والبيئية المهمة إلا أن التأثير المناخي يعد من العوامل الرئيسية لتكوين وتشكيل المبنى في العمارة الإسلامية.

معظم الدول الإسلامية تقع ضمن نطاق المناخ الحار بين خطي عرض 10 و30°، وتباين طبيعة الرطوبة بين المناخ الجاف، المناخ الشبه الجاف والمناخ الرطب. وقد أثرت طبيعة المناخ القاسي من حيث الحرارة على طبيعة الحياة للسكان وهو ما استدعى منهم محاولة التأقلم من جهة والسعي إلى معالجته في تخطيط مبانيهم. ومن هذا المنطلق عرفت المنطقة عدة إجراءات وأساليب خاصة على مدى عصور لأجل السعي

¹ الجمعية العامة للأمم المتحدة. (1987). مستقبلنا المشترك. تقرير مفوضية الأمم المتحدة للبيئة والتنمية.

² Wikipedia, the free encyclopedia (2016, April). Earth's atmosphere. Retrieved January 22, 2019, from <http://www.wikipedia.org/wiki/Atmosphere>

³ العريني، ي. ب ع ا. (1429 هـ / 2008م). رعاية البيئة من التلوث، رؤية اقتصادية إسلامية. الرياض: دار طويق.

⁴ ابن نجيم، (1405 هـ / 1985م). الأشباه والنظائر، ص 85. بيروت: دار الكتب العربية.

لتوفير جو حراري ملائم ومنعش قدر المستطاع، وقد أثبتت في الكثير من الأحيان نجاحتها في التقليل من الإجهاد الحراري بالرغم من بساطتها.

لقد إرتبط مفهوم التصميم البيئي بالسعي للتقليل من الإعتماد على مصادر الطاقة الغير متجددة بمختلف أنواعها وذلك لأسباب مادية وبيئية وصحية، ولتحقيق ذلك يلجأ المصمم إلى إستغلال مكونات البيئة الطبيعية لتحصيل الطاقة اللازمة لتوفير وسط مريح داخل المبنى.

ويعتبار مبنى المسجد أهم العمائر لدى المسلمين، فقد كان له النصيب الأكبر من الإهتمام بعناصره المختلفة ليلائم طبيعة المناخات المحلية خصوصا الحارة منها.

وقد أشارت العديد من الدراسات إلى المؤثرات المناخية على عمارة المساجد، حيث إنها أثرت في تصميم وشكل عناصر المسجد الأساسية التي يأتي في مقدمتها صحن المسجد والقباب، فكان تحديد شكل الصحن ومساحته يتركز للظروف المحلية لكل إقليم¹.

1.3. إستخدام الصحن

يعرف المعمارون الصحن بأنه الحيز الداخلي المفتوح على السماء، والمحاط من الجوانب التي تطل عليه للحصول على التهوية والإضاءة الطبيعية. ويمكن أن يكون بإرتفاع دور أو دورين. أما دوره الوظيفي فيختلف باختلاف نوع البناء.

يرجح الباحثون أن أقدم صحن تم العثور عليه بالمنطقة قبل الإسلام بمئات السنين، قد وجد بمدينة "أوغاريت" بسوريا، وهو مبلط بالحجارة ومزود ببركة ماء². وقد أكدت عدة دراسات حول دور الصحن في كل من عمارة ما بين النهرين والعمارة الفارسية، الفرعونية واليونانية، أن العوامل المناخية هي المحدد الأساسي لدور الصحن إضافة الى دوره الاجتماعي³.

1.1.3. إستخدام الصحن في تبريد المبنى

إن الصحن يعمل كمنطقة عزل ومنظم حراري ما بين المحيط الداخلي والخارجي، كما يعمل على تعديل الجو الداخلي للمبنى، وتأمين الحماية من الرمال والغبار في المناطق الصحراوية.

¹ وزيري، ي. (2004). المرجع السابق، ص 153.

² الجزري، ابن الاثير. (544-606). جامع الأصول في أحاديث الرسول. حقق نصوصه وخرج أحاديثه وعلق عليه الأرنؤوط. الكويت: مكتبة الحلواني. مطبعة الملاح. مكتبة دار البيان.

³ حريري، م. م. ع. ا. (1991). صحن الدار والتطلع الى السماء، ص 85. جدة: دار المجتمع للنشر.

يعمل الصحن كمظف للأجواء الداخلية في المناخ الحار الجاف بواسطة استراتيجيتين^{1،2}:

- الحماية من أشعة الشمس عن طريق توفير الظلال.

- دعم التهوية الطبيعية.

التهوية الطبيعية تساعد على خفض درجات الحرارة من خلال التخلص من الهواء الحار وتعويضه بهواء أقل حرارة كما تعمل على خفض حرارة الهيكل.

يساهم الصحن في التهوية من خلال خلق فارق في الضغط الجوي بين الجزء المعرض لأشعة

الشمس والجزء المظلل³ حيث ترتفع حرارة الهواء الملامس للسطح المعرض للشمس فينخفض ويرتفع

ليعوضه الهواء الملامس للأسطح الأقل الحرارة في الجزء المظلل.

وقد أورد الباحث عمر الحافظ⁴ الجدول 1.1. يتضمن العناصر المكونة للصحن وكيفية تأثيرها على

تلطيف الجو في المناخ الحار الجاف وذلك بالإعتماد على عدة مراجع بحثية.

الجدول 1.1. كيفية مساهمة عناصر الصحن في تلطيف الجو الحراري للمبنى.

العناصر البنائية للصحن	العوامل المتغيرة ذات التأثير الحراري	كيفية التأثير الحراري المباشر
الشكل	العلاقة بين الأبعاد (الطول، العرض، العمق)	خفض الريح الحراري
التوجيه	توجيه محور الطول	دعم حركة الهواء
الموقع	الموقع في المبنى ومساحة الانفتاح	دعم حركة الهواء
الأبعاد	الطول، العرض، العمق	دعم حركة الهواء
غلاف المبنى المطل على الصحن	السعة الحرارية (النقلية الحرارية)	تقليل الريح الحراري
وجود الماء والنباتات	الاستفادة من ظاهرة التبخير	خفض حرارة الهواء / دعم حركة الهواء

1.1.1.3. أبعاد الصحن ونسبه

يساعد الفناء الداخلي على تعديل الأجواء المناخية، وتكوين مناخ داخلي مصغر للمبنى، في حال تم

الإهتمام بنسبه الداخلية.

¹ Al-Hemiddi, N.A., Megren Al-Saud, K.A. (2001). The effect of a ventilated interior courtyard on the thermal performance of a house in a hot- arid region. *Renewable Energy*, 24(3-4), pp. 581-595.

² Muhaisen, S., Gadi, M. B. (2006). Shading performance of polygonal courtyard forms. *Building & Environment*, 41/8, pp. 1050-1059.

³ Agha, R. (2015). Traditional Environmental Performance: The Impact of Active Systems upon the Courtyard House Type- Iraq. *Journal of Sustainable Development*, 8, pp. 28.

⁴ Omar Al-Hafith et al. The Impact of Courtyard parameters on its shading level An experimental study in Baghdad, Iraq. *Energy Procedia* 134 (2017) 99-109.

في المناطق الحارة والمعتدلة أستخدم الفناء لتوفير الأجواء المريحة مستفيداً من كون ارتفاعه أكبر من عرضه أو طوله مما يمنع أشعة الشمس من التغلغل إلى الطابق الأرضي¹.

يقول "محيسن" أيضاً أن هناك تأثيراً مباشراً لنسب الفناء على كمية الإشعاع الشمسي الداخل له وبالتالي ينعكس ذلك على أدائه الحراري⁴. وقد أثبتت دراسة الباحث أحمد حمدي لبعض المساجد الجامعة في مصر أن هناك تناسباً بين مساحة الصحن والجزء المبنى. حيث تتراوح النسبة بين 30 و 55 % من مساحة المسجد وهو دليل على إتساع الصحن في الجوامع الأولى بمصر. وبقيت هذه النسبة نفسها في النموذج ذي الصحن والإيوانات في العصر الأيوبي بمصر. وهو ما يلاحظ في المدرسة الصالحية والكاملية لتلك الحقبة. بالإضافة إلى مدرسة المنصور قلاوون².

باعتبار أن بدايات إنتشار الإسلام كانت لخطوط طول تصل الى 10 درجات شمال مكة المكرمة والمدينة المنورة، في شمال إفريقيا وبلاد الشام، أي أن زوايا إرتفاع الشمس أقل بحوالي 10 درجات من مثيلاتها بمكة والمدينة فقد كانت الظروف المناخية بهذه المناطق متقاربة نوعاً ما، فكانت مساحة الصحن كبيرة حيث تمثل 40 و 50 % من مساحة المبنى في المساجد الجامعة الأولى كمساجد المدينة وبن طولون بمصر ومسجد القيروان³ بتونس.

في القرن الثالث عشر بدأ الإسلام بالانتشار في الجنوب الإفريقي في أماكن صحراوية وهي ذات خطوط عرض أسفل مكة المكرمة وتتميز هذه المناطق بزوايا شمس مرتفعة مما أدى إلى صغر مساحة صحن المساجد بهذه المناطق، ويظهر ذلك ملياً في مسجد "تمبكتو" (الشكل 9.1). بمالي حيث زوايا الشمس مرتفعة مما أدى لصغر مساحة الصحن للحصول على المزيد من الظلال بالإضافة لصغر مساحة الفتحات².

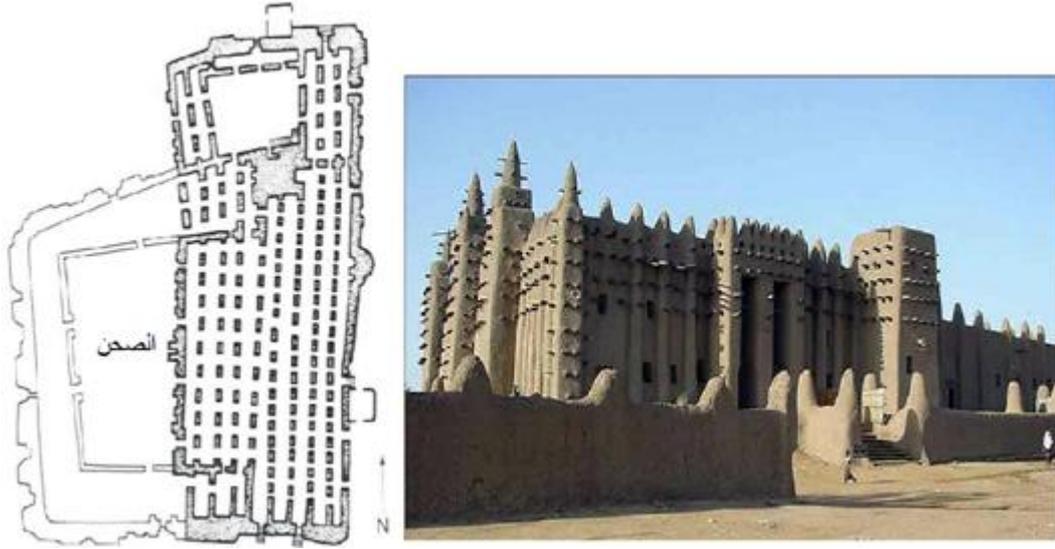
في المناطق التي تتميز بزوايا مرتفعة لأشعة الشمس يفضل أن يكون إرتفاع الصحن أكبر من عرضه أو طوله مما يمنع أشعة الشمس من التغلغل إلى الصحن أو إلى الطابق الأرضي⁴.

¹ Muhaisen, S., Gadi, M. B. (2006). "OP.cit"

² وزيري، ي. (2004). المرجع السابق، ص 155.

³ وزيري، ي. (2004). المرجع السابق، ص 154.

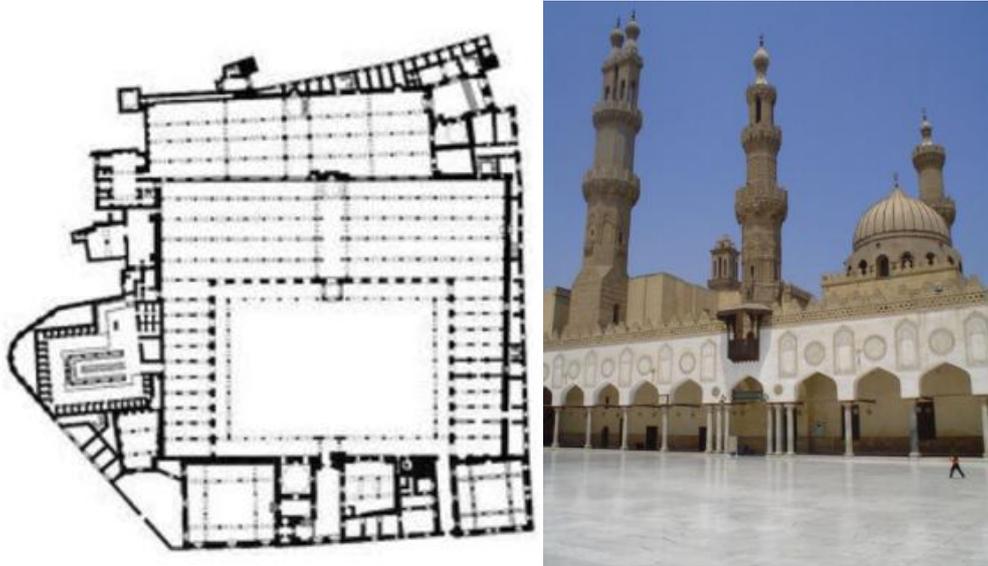
⁴ Muhaisen.S M. B. Gadi,(2006). "OP.cit".



الشكل 9.1. المسقط الأفقي وصور مسجد تمبكتو بمالي. (المصدر: www.hullsgrove.com)

2.1.1.3. موقع وتوجيه الصحن

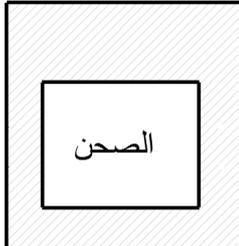
عندما خط الرسول صلى الله عليه وسلم المسجد النبوي في المدينة المنورة، كان الصحن ثاني عنصر في التصميم، وقد إقتدى خلفاء المسلمين وأمرؤهم بمسجد رسول الله وأصبح الصحن عنصرا أساسيا في كثير من المساجد التي بنوها وإن اختلفت أشكاله. وإنتشر وجوده كعنصر أساسي محصور بين قاعة الصلاة والرواق الخلفي والأروقة الجانبية خصوصا في شرق العالم الإسلامي ومصر، مثل الجامع الأزهر الظاهر في الشكل 10.1. حيث أنه المصدر الأساسي للتهوية وإضاءة رواق المسجد.



الشكل 10.1. جامع الأزهر بمصر. أ. المخطط / ب. صورة للصحن

(المصدر: www.hullsgrove.com)

الشكل 11.1. يظهر أشكال الصحن الشائعة وفق تصنيف هيلين براند (Hillenbrand) حيث شكلها في الغالب مستطيل مع التأكيد على العمق أو العرض¹.

		
جامع القرويين بمدينة فاس المغربية	جامع ابن طولون بالقاهرة-مصر	جامع القيروان بتونس

الشكل 11.1. أشكال الصحن الخاص بالمساجد الشائعة وفق تصنيف هيلين براند (Hillenbrand. 1994)

تظهر العناية الكبيرة بموقع الصحن في دراسة الباحث "الديب" (El-deep)² الذي أكد على أن الموقع الغير مناسب للصحن بأن يكون عرضة للأشعة من كل جوانبه يرفع الإستهلاك الطاقوي بنسبة 15 % مقارنة ببناء مماثل بدون صحن. في حين أن الموقع المتوسط للصحن بحيث تتوفر الظلال على جوانبه الأربعة من شأنه توفير جو حراري داخل الصحن أقل بمقدار 9°م من حرارة الخارج وفق دراسة ميدانية للباحث "المصري" (Al-Masri)³.

أظهر التحقيق الحاسوبي للباحث "الحافظ" (Al-Hafith)⁴ أن تظليل الفناء يتأثر بخواصه الهندسية المختلفة واتجاه محور طولها، والتي لها درجات مختلفة من التأثير. وكقاعدة عامة، للحصول على مستوى أعلى من التظليل، يجب على الأفنية أن تكون مصممة لاتخاذ الأشكال العميقة والضيقة. فيما يتعلق ببغداد مثلاً يتأثر تظليل الفناء غالباً بنسبة عرض الباحة إلى الارتفاع بينما يعتبر التوجيه أقل تأثيراً.

¹ Hillenbrand, R. (1994). *Islamic Architecture: Form, Function and Meaning*. Edinburgh: Edinburgh University Press.

² El-deep, K., El-zafarany, A., Sheriff, A. A. (2012). *Effect of building form and urban pattern on energy consumption of residential buildings in different desert climate*. PLEA, 28th conference opportunities Limits and needs towards an environmentally responsible architect. Lima, Peru.

³ Al-Masri, N., Abu-Hijleh, B. (2012). Courtyard housing in midrise buildings: An environmental assessment in hot-arid climate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(4), pp. 1892-1898.

⁴ Al-Hafith, O. et al. (2017). "OP.cit"

3.1.1.3. معالجات الصحن

في المناخ الحار الجاف يلجأ المعماري إلى البناء المنفتح إلى الداخل باتجاه الصحن، فهي عملية تقلل من شدة الإشعاع الساقط على الحوائط الخارجية، فتتوفر منطقة باردة في قلب المسجد، كما يمكن تلطيف الجو من خلال التبريد بالتبخير عن طريق تزويده بمسطح مائي أو إستخدام نوافير توفر الرذاذ¹.
أضف المعماري للصحن في المناخ الحار الجاف الكثير من العناصر الجديدة مثل النباتات ونوافير المياه، والتي ساعدت على خلق بيئة مناخية مصغرة للتقليل من حر الصيف بجانب تحقيق النواحي الجمالية للمستخدم².
العديد من المباني في البلدان الحارة الجافة مصممة حول فناء مركزي، مع نافورة صغيرة في المنتصف. تبخر الماء يبرد الهواء من حولها بشكل مباشر، بحيث يصبح الهواء أثقل وينتقل إلى المساحات المحيطة بها³.



الشكل 12.1. صورة لصحن مزود بأشجار لخلق مناخ مصغر بمسجد عقبة بن نافع بسكرة الجزائر.

(المصدر: www.al-sharq.com)

¹ Allan, K., (1980). *Design Primer for hot Climates*. London: The Architectural press Ltd.

² الإكياي، م. ع. ا. خ. (٣١ يناير-٤ فبراير ١٩٨٨ م). مدخل لتصميم المسكن ذي الفناء في المدينة الإسلامية. المؤتمر القومي الأول للدراسات والبحوث البيئية، القاهرة: معهد ٤٢ الدراسات والبحوث البيئية.

³ Khan, N., Su Y., Riffat S. B. (2008). A review on wind driven ventilation techniques. *Energy and buildings*, pp. 1586-1604.



الشكل 13.1. صورة لصحن مزود بحوض مياه لتلطيف الجو. "المسجد الوردى" في شيراز، إيران.
(المصدر: www.hamhigh.co.uk)

تقارب الحرارة في الصيف 50° بالمدينة المنورة، مما يجعل الساحات موقعاً شديداً الحرارة، وهنا يبرز التحدي المتمثل في كيفية تحسين المناخ في ساحات المسجد دون المساس بمميزاته المعمارية التي في مقدمتها الصحن. فكان الحل استخدام المظلات المصنوعة من نسيج "بولي تترافلور ايثيلين" الواقي من الأشعة فوق البنفسجية وهو نسيج شفاف مع نفاذية ضوئية مناسبة، وتظليل فعال ويتمتع بمقاومة عالية لقوة الرياح، إضافة إلى اللون الرملي لمنع الإنبهار البصري¹.

منذ 2010، تم تركيب 250 مظلة، تبلغ المساحة السطحية لكل منها 572 م^2 ، وارتفاعها 15م، وإذ تفتتح هذه المظلات معاً تشكل منطقة مظلة مساحتها 143000 م^2 .

برمجت المظلات لتتفتح وتنغلق بحيث تتأخر الواحدة عن الأخرى بفترة وجيزة تمنع التصادم، وتم تنسيق تشغيلها شبه الصامت أوتوماتيكياً مع التغيرات في درجة الحرارة اليومية، فهي تفتتح كل صباح مشكلة سقفاً شبه شفاف، وتنغلق كل مساء. توفر المظلات المفتوحة في الصيف تظليلاً خلال النهار، فتعكس مقداراً كبيراً من إشعاع الشمس وعندما تنغلق ليلاً، ترتد الحرارة المتخلفة التي تمتصها الأرضيات الرخامية والجدران إلى الجو

¹ سلامة، م. (2018/08/16). طقس العرب. وجدت (فيفري 02، 2019)، من (مظلات-الحرم-وقاية-من-وهج-الشمس-و-هطول-المطر/<http://www.arabiaweather.com/content/>)

وقد نجح هذا المشروع بتخفيض الحرارة في باحات المسجد نهاراً 8°م على الأقل¹ خصوصاً وأنها مزودة بأنظمة لرش رذاذ الماء المساهم في التبريد بالتبخير.



الشكل 14.1. صور لمظلات المسجد النبوي. (المصدر: www.isalna.com)

2.1.3. إستخدام الصحن للصلاة

في المناخ الحار الجاف عادة ما يستخدم الصحن للصلاة بعد غروب الشمس عندما تسمح الظروف المناخية وقد أكد الباحث "إبراهيم"² بأن إعادة تصميم الساحات الخارجية للصلاة في منطقة "الدمام والحسكة" في السعودية قد خفض 30% من تكاليف تكييف الهواء بالنسبة لكلا المدينتين، وأن نسبة إستخدام الصحن للصلاة هي 48% و 51% على التوالي.

في دراسة للباحثان "الناجم و المفيز"³ إتضح أن صحن المسجد من شأنه أن يخفض الطاقة الكهربائية للتبريد بمقدار الثلث في كل من منطقة "الدمام والأحساء" في السعودية، حيث أثبت الباحثان أن الصحن يمكن إستخدامه لأداء الصلاة في فصل الصيف بنسبة 36-61% من أوقات الصلاة في مدينة الدمام.

¹ سلامة، م. (2018/08/16). المرجع السابق.

² Ibrahim, B. (2002). The role of the courtyard of the mosque in the rationalization of electricity consumption. *Architecture and planning, 1*, 1-17.

³ الناجم، ع.، المفيز، إ. (1999). أهمية فناء المسجد في ترشيد الطاقة الكهربائية. ندوة عمارة المساجد. الرياض.



الشكل 15.1. صورة لاستخدام الصحن للصلاة بمسجد القيروان بتونس. (المصدر: www.al-sharq.com)

2.3. استخدام السقوف المقببة

في المناطق الحارة الجافة تعتبر السقوف ذات السطح المقبب مفضلة عن الأسطح المستوية وذلك لقدرتها الكبيرة في التخلص من الإجهاد الحراري داخل المباني، وقد أظهرت عدة دراسات أن كمية الطاقة الشمسية التي تتلقاها القبة مساوية تقريبا لما يتلقاه سطح مستو بنفس مساحة مسقط القبة¹. مع العلم أن القبة تسمح بالإستفادة من حجم إضافي للمبنى وهو حجمها، وهو ما يعني أن القبة أكثر ملائمة للتخلص من الإجهاد الحراري داخل المبنى.

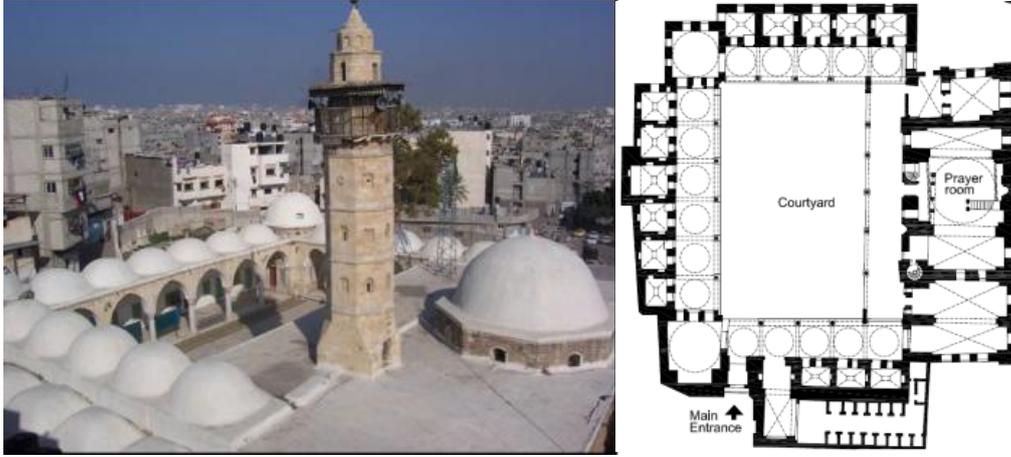
باعتبار أن شكل القبة يسمح بتوفير حجم أكبر لحمل الهواء الساخن إلى الأعلى فتتولد منطقة ضغط منخفض في أعلاها تعمل على إخراج الهواء الساخن عبر نوافذها ليحل محله هواء أقل حرارة من النوافذ أو أي مصدر للهواء البارد².

لظالما أستخدمت السقوف المقببة لتغطية أجزاء من سطوح المساكن في المناخ الحار الجاف، كما أن معظم مساجد المناخ الحار الجاف مزودة بقبة فوق قاعة الصلاة وقد تستخدم قباب صغيرة لتجاوزها أو لتغطية الأروقة الجانبية، وقد يكتفي البناء بقبة واحدة. وفي بعض المناطق تستخدم أنصاف الأسطوانات في تغطية المساجد خصوصا في المناطق شديدة الحر.

¹ Serpoushan, S., Yaghoubi, M., (2001). Solar energy calculation on 3D surfaces. *Iran Energy Journal*, 13.

² Soflaee, F., Shokouhian, M. (2005). Natural cooling systems in sustainable traditional architecture of Iran international conference. *Passive and low energy cooling for the built environment*, p. 715. Greece.

هذا النوع من عناصر التغطية تكون مظلة دائماً إلا وقت الظهيرة كما تزيد سرعة الهواء المار فوق سطوحها المنحنية مما يعمل على خفض درجة حرارة هذه السقوف¹.



الشكل 16.1. مخطط ومنظر عام لمسجد السيد هاشم بغزة-فلسطين. (المصدر: Muhaisen, A. S. 2016)

تعتبر القباب من العناصر المعمارية البيئية في عمارة المساجد حيث تساعد على إخراج الهواء الساخن من داخل المبنى عبر مخارج الهواء العلوية، في توسعة المسجد النبوي، ومن أجل توفير التهوية والإنارة الطبيعية للمسجد الشريف تم إنشاء 27 قبة متحركة، تزن الواحدة منها 80 طن، وبلغ ارتفاعها عن السطح 3.55م، وبقطر 14.70م. وهي ذات هيكل فولاذي مغطى من الداخل بالخشب ومن الخارج بالسيراميك². ويتم التحكم في فتحها وغلقها عن بعد من غرفة التحكم، وذلك للإستفادة من الجو الطبيعي حين تسمح الظروف المناخية بذلك. الشكل 17.1. يظهر القباب المفتوحة للمسجد النبوي.



الشكل 17.1. صور القباب المتحركة في المسجد النبوي. (المصدر: www.okaz.com)

¹ Muhaisen, A. S. (2011/1432H). Shading Potential of Semi-spherical Roof Dome. *J. King Saud Univ.*, 23, 31-40.

² الموقع الرسمي لجريدة عكاظ السعودية. (www.okaz.com).

3.3. إستخدام أبراج الرياح

إستخدم المعماري المسلم عدة تقنيات للتبريد بشكل معالجات مناخية ومن أبرزها أبراج الرياح في عدة مساجد قديمة والتي تنوعت أشكالها ومواضعه:

- برج الرياح الحائطي خلف المنبر بمسجد الصالح طلائع بمصر¹. ومسجد "مكي" في الكويت.
- بجوار المحراب في المسجد القديم في "كرمان" بإيران وقد أثبتت القياسات أنه قد نجح في خلق تيار هوائي أثناء النهار من الخارج إلى المحراب داخل المسجد بعد خفض حرارته بمقدار 3° مما عمل على تلطيف الجو الداخلي².
- وسط سقف الرواق الرئيسي وهو بشكل بروز بسيط يعلوه سقف مائل له جنبان خشبيان. وموجه باتجاه هبوب الرياح، ونجد هذا المثال في مسجد داعي الدار بمدينة "فوة" المصرية³.



الشكل 18.1. مسجد تاريخي من القرن 10 "نائين" بإيران مزود بملاقف البهواء .

(المصدر: www.imgrunweb.com)

وقد تم إستخدام أبراج الرياح بمعالجات حديثة في بعض مساجد العصر الحديث والتي تساهم في خفض حرارة قاعة الصلاة بشكل كبير ومن أمثلة ذلك جامع "الرحمانية" بمنطقة الجوف⁴ هذا الأخير الذي

¹ وزيري، ي. (2004). المرجع السابق، ص 156.

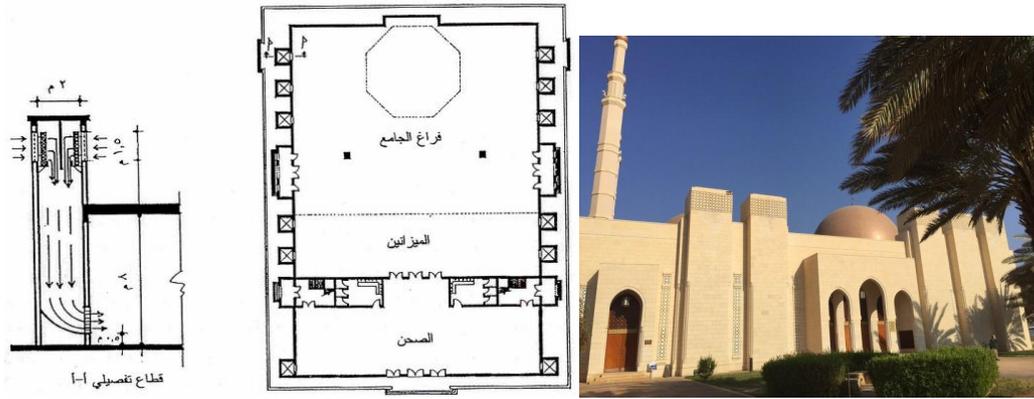
² Olgyay, V. (1963). *Design with climate Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. Princeton: Princeton university Press.

³ وزيري، ي. (2004). المرجع السابق، ص 156.

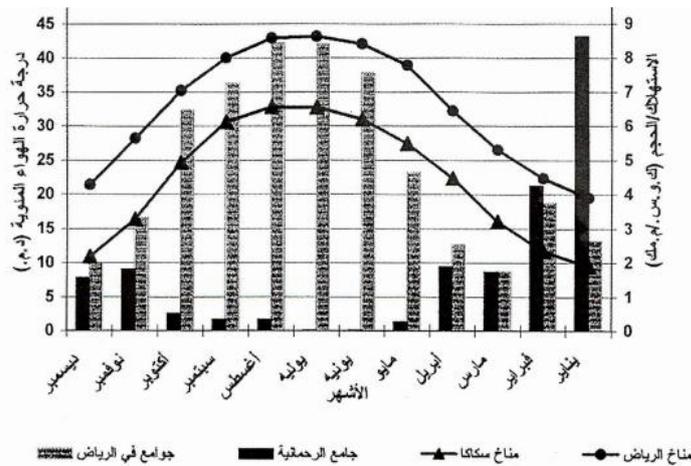
⁴ بن عبد الله، خ. وغيره. (1999م). أبراج التبريد الطبيعي وأثرها على الأداء الحراري للمساجد: حالة جامع الرحمانية بالجوف، ص 25-40. أبحاث ندوات عمارة المساجد. الرياض: جامعة الملك سعود، كلية العمارة والتخطيط.

عمارة المساجد في المناخ الحار الجاف

يجوي 12 برجاً جانبياً لسحب الهواء 10 منها لتبريد قاعة الصلاة واثنين لتبريد الصحن وهي أبراج ذات شكل مربع ضلعه 2م وبارتفاع 10م. كل برج مزود بأربعة فتحات $1.5 \times 1 \text{ م}^2$ تحتوي ألواح "الكرتون" (cel-deck) المزود بنظام تقطير للمياه ومخارج البرج عبارة عن فتحات قريبة من الأرض بنفس أبعاد فتحات المداخل. أما تصريف الهواء خارج القاعة فيتم عبر الأبواب التي تبقى مفتوحة خلال كامل فترة الاستخدام. وقد سمح هذا النظام بخفض الحرارة إلى أكثر من 12°م° في حدود عدم تشبع الهواء بالرطوبة أي أقل من 100%. وقد أورد الباحث في نفس المقال مقارنة بين أداء أبراج هذا المسجد مع برج هواء مماثل في "أريزونا" بالولايات المتحدة حيث أظهرت النتائج أنه أقل كفاءة في مسجد "الرحمانية" بالرغم من تشابه البرجين والظروف المناخية وأرجع سبب ذلك إلى أن المسجد غير مزود بمدخنة حرارية لتحفز حركة الهواء وبالتالي زيادة الكفاءة كما هو الحال في برج "أريزونا".



الشكل 19.1. مخطط المسقط، مقطع في برج الرياح ومنظر عام لمسجد الرحمانية بالجوف بالمملكة السعودية. (المصدر: بن عبد الله، خ. وغيره. 1999)



الشكل 20.1. مقارنة الاستهلاك الطاقي السنوي بين مسجد مزود بأبراج التبريد والتبخير ومتوسط الاستهلاك لمجموعة مساجد من نفس الحجم. (المصدر: بن عبد الله، خ. وغيره. 1999)

في الشكل 20.1. مقارنة بين معدلات إستهلاك الطاقة لجامع الرحمانية مقارنة مع متوسط الإستهلاك لمساجد مشابهة في الحجم بمنطقة الرياض ويظهر بوضوح بأن إستهلاك الطاقة في مسجد الرحمانية والمزود بملاقف هواء التبريد بالتبخير يستهلك طاقة أكثر للتسخين منها للتبريد وهو دليل على كفاءة الأبراج في تبريد الهواء.

خلاصة

تطرق هذا الفصل إلى مفهوم المسجد كبناء مادي يتعدى دوره التعبدي إلى كونه مركزا لنشر الثقافة الدينية والدينيوية، من خلال الإلقاء في الدروس وخطب الجمعة، بالإضافة إلى كونه قدوة بنائية إنطلاقا من إختيار موقع طاهر وذو ملكية لا شبهة فيها وصولا إلى نوعية التنظيم المحلي الداخلي الذي يدعم الألفة بين المصلين بوقوفهم في صفوف متواصلة مع التشجيع على التسابق في العبادة من خلال إستحباب الصفوف الأولى، بالإضافة إلى إختيار العناصر المعمارية ومعالجتها بحيث تغلب عليها البساطة وعدم الإسراف، وأن لا يؤذي المسجد جيرانه، كل هذه المظاهر وغيرها تؤكد أن للمسجد رمزية وقدرة في التأثير على الحياة الإجتماعية والثقافية والتي يجب مراعاتها عند تصميمه.

وإنطلاقا من أهميته كمركز لنشر الوعي عند المسلمين، إستعرض الفصل أيضا مدى تبني العمارة البيئية في تصميم المساجد بإعتبار التصميم البيئي هو أحد أبرز مظاهر الحفاظ على البيئة وتفادي الإسراف وهي القيم التي يتبناها الدين الإسلامي، وله قواعد فقهية في هذا الإتجاه، وركز الفصل على البعد البيئي في المناخ الحار الجاف. وتبين أن هنالك عدة عناصر كانت ضمن التصميم الأساسي وجرى تكيفها بمرور الوقت مثل الصحن وعناصر أخرى كانت ضمن العناصر المضافة مثل برج الرياح. وقد ظهرت العناية الكبيرة لمصممي المساجد التقليدية في دعم التهوية الطبيعية في المناخ الحار الجاف باعتبار حركة الهواء أحد العوامل الأساسية في المساهمة في توفير جو حراري مريح.

إلا أن أغلبية المساجد في الوقت الحالي لم يحترم في تصميمها توظيف الأفكار النابعة من تفاعل التصميم مع البيئة المحلية وكذلك راحة المصلين فأنتجت لنا مبان تعتمد بشكل أساسي على التبريد الآلي. خصوصا مع غياب فهم مناسب ودقيق للراحة الحرارية داخل المساجد. وبناءا عليه سيستعرض الفصل القادم مفهوم الراحة الحرارية والدراسات المنجزة في هذا السياق.

الفصل الثاني:

مفاهيم و دراسات حول الراحة

الحرارية داخل المبنى

الفصل الثاني: مفاهيم ودراسات حول الراحة الحرارية داخل المبنى

المقدمة

النشاط الأيضي (Metabolic activity) لجسم الإنسان بكل مكوناته المرتبطة بمختلف الانظمة (التنفس، هضم الطعام، .. الخ) له علاقة مباشرة بالمحيط الحراري الخارجي، حيث أن التبادل الحراري بين الجسم ومحيطه من متطلبات الراحة الفيزيولوجية ويصاحب ذلك تأثير على الحالة الذهنية. وقد حاول العديد من الباحثين تحديد الأجواء الحرارية المريحة للإنسان إلا أن هذه الدراسات صادفت صعوبة في إيجاد مفهوم دقيق للراحة الحرارية بسبب العوامل العديدة الداخلة في تفاعل الإنسان مع الظروف البيئية، والتي من بينها العوامل الفيزيولوجية والنفسية وهو ما جعل ما هو مناسب لشخص قد لا يكون مريحاً لغيره، ومع ذلك فإن الدراسات في هذا السياق لم تتوقف لإيجاد أجمع السبل لتقييم الراحة الحرارية من خلال تحديد أهم العوامل المؤثرة فيها ودرجة تأثيرها.

1. مفهوم الراحة الحرارية (Thermal comfort)

تعرف الراحة الحرارية بأنها حالة ذهنية للجهاز العصبي، التي تقيم شعور الإنسان بالراحة في بيئته الحرارية المحيطة، وهي على نوعين: الراحة الفيزيولوجية والراحة النفسية وهي تعبير عن حالة التوازن الحراري بين الجسم الإنساني ومحيطه الحراري¹ حيث أثبتت العديد من الدراسات الطبية ان مخ الإنسان يسعى لثبات درجة حرارة الجسم عند حدود 36.8°م، وفي حال إنخفاضها يلجأ الجسم إلى زيادة الحرارة عن طريق الارتجاف، وعند ارتفاعها يسعى لزيادة التبريد عن طريق التعرق².

ومن هذا المنطلق يمكن التعبير عن الراحة الحرارية بشكل مبسط على أنها شعور ذهني بالتوازن الحراري (Thermal balance) دون لجوء الجسم إلى إستراتيجيات التبريد أو التسخين. حيث يلجأ إليها الجسم في حالة خروج حرارة الجلد عن المجال بين 31° و 34° تبعاً لطبيعة الفرد، بما يكفل إستمرار الصحة³.

¹ Cantin, R. et al. (September 19 to 22, 2005). Complexité du confort thermique dans les bâtiments. *In actes du 6eme congrès européen de science des systèmes tenu*. Paris.

² American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc, ASHRAE Handbook/Fundamentals, (2009). Ventilation and infiltration, Chapter 16-11.

³ Thelier, F. et al. (2003). Les outils d'évaluation du confort thermique. *Journée SFT/ CSTB*. Nantes.

وهو ما ذهب إليه الباحث "أولجياي" (Olgyay)¹ في تعريفها بأنها "التعادل الحراري، بمعنى حالة لا يشعر معها الشخص بالحر أو البرد، أو أية مضايقة نتيجة لخلل في المحيط الحراري". والمفهوم بهذا الطرح أقرب للفهم والإستيعاب حيث لا يلفت انتباه الإنسان أنه مرتاح لكنه يشعر بحالة عدم إرتياحه.

2. التوازن الحراري بين الجسم وبيئته

يقوم جسم الإنسان بتوليد الحرارة عن طريق النشاط الأيضي الذي يتركز على حرق المواد الغذائية. وحتى لا تؤذي الحرارة الناتجة الجسم يتم صرفها إلى الخارج وفق تدفق معين. ويتم هذا التدفق الحراري بين ما ينتجه الجسم وما يفقده نحو بيئته الحرارية كما يلي:²

-التبادل الحراري بالإشعاع (Heat exchange by radiation).

-التبادل الحراري بتيارات الحمل الحراري (Thermal exchange with convection currents).

-التبادل الحراري بالتبخير (Heat exchange evaporation).

-التبادل الحراري بالتوصيل (Heat exchange by conduction).

1.1.2. التبادل الحراري بواسطة الحمل

وهو تبادل يعتمد بالأساس على حرارة الهواء وسرعته، حيث يكتسب الجسم الحرارة من الهواء في حالة كان الفارق الحراري لمصلحة الهواء في حين يفقد الحرارة باتجاه الهواء في حالة الحرارة المنخفضة للهواء مقارنة بالجلد، أما سرعة الهواء فهي تؤثر في هذه العملية على إعتبار أن السرعات المرتفعة تضمن احتكاكا أكبر بين الجلد و الهواء الملامس له³. أما التغير الفيزيائي للظاهرة فأساسه تغير كثافة الهواء بتغير حرارته حيث أن الهواء البارد يهبط للأسفل و الحار يرتفع للأعلى.

وقد تم تقييم الفقد الحراري لكل وحدة من الجلد بفعل تيارات الحمل الحراري وفق المعادلة التالية³:

$$C = hc (T_{cl} - T_a) \dots \dots \dots (01)$$

C : معدل فقدان الحرارة نتيجة تيارات الحمل (وات/م² x م⁰).

hc : معامل انتقال الحرارة بواسطة تيارات الحمل (وات/م²) ... hc = 8.3√v

¹ Olgyay, V. (1963). *Design with climate Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. Princeton: Princeton university Press, pp.14.

² Moujalled, B. (2007). *Modélisation dynamique du confort thermique*. Thèse de doctorat. Lyon : Institut des sciences appliquées.

³ Cristan, C., Francis A. (2005). *Natural ventilation in the urban Environment .Assessment and Design*, pp. 20. London: EARTHSCAN.

v : سرعة الهواء (م/تا).

Tc : متوسط درجة حرارة السطح الخارجي للملابس (م°).

Ta : متوسط درجة حرارة الهواء المحيط بالإنسان (م°).

2.2. التبادل الحراري بواسطة التبخر

يلعب إفراز الماء بواسطة العرق عن طريق مسامات الجلد عند التعرق أو التبخر بالتنفس دورا مهما في التخلص من الإجهاد الحراري، حيث أن تبخر 1 غرام من الماء يستهلك 580 وحدة حرارية بالتقريب¹. إن التبخر بالتنفس هو عملية تتم عن طريق الرئة أثناء عملية الشهيق حيث يتشبع الهواء بالماء، وهو في نفس حرارة الأنسجة الداخلية للجسم، ومع الزفير تتبخر جزيئات الماء وبنهاية العملية تكون الأنسجة الداخلية للرئة قد فقدت من حرارتها².

يعتبر تبخر العرق العامل الأساسي لفقدان الحرارة عن طريق التبخر ويزيد معدل الفقدان الحراري هنا عندما يتجاوز معدل التبخر على سطح الجلد معدل التعرق، حيث أن العرق الذي يسقط بعيدا عن الجلد ليس له تأثير في التخلص من الحرارة، ومع أن إختلاف فعالية هذه الآلية تتغير بتغير حرارة الهواء وسرعته وعوامل أخرى إلا أن دراسات متعددة أثبتت أن المتوسط هو 11 غ لكل م² من مساحة الجلد³.

3.2. التبادل الحراري بواسطة التوصيل

ويقصد هنا الفقدان الحراري عبر الجلد نتيجة إتصاله مع الأسطح ذات الحرارة المختلفة عن حرارته (إما إكتساب أو فقدان)، وفي حالة الأسطح الأقل حرارة تنتقل الحرارة من الجلد إلى السطح فيشعر الشخص بالبرودة⁴ وهو تبادل ذو تأثير غير أساسي في حالة تغطية الأرضيات بالزرايب ذات معامل العزل الكبير خصوصا مع عدم لمس الأسطح الأخرى.

¹ Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*, pp. 45. Canada : John Wiley & Sons, Inc.

² Cordier, N. (2007). *Développement et évaluation de locaux de grandes dimensions*, pp. 321. Thèse de doctorat. Lyon.

³ Jung, O. (2009). *Approche multicritère numérique et expérimentale de la ventilation et du rafraichissement d'un multizone par contrôle de composant de façade*, pp. 36. Thèse de doctorat

⁴ Givoni, B. (1998). «OP.cit», pp. 42.

4.2. التبادل الحراري بواسطة الإشعاع

وهو تبادل حراري بين سطح جلد الإنسان مع الأسطح المحيطة المواجهة له بواسطة الأشعة ذات الأمواج الطويلة¹. وتنتقل الحرارة هنا من الأعلى إلى الأقل درجة وتتوقف هذه الظاهرة على حرارة سطح الجلد وحرارة الأسطح بالإضافة الى معامل انبعاث جسم الإنسان وذلك وفق المعادلة التالية:²

$$Re = \varepsilon \times hr \times fcl \times feff (Tcl - Tr) \dots \dots \dots (02)$$

حيث :

Re: معدل التبادل الحراري بين جسم الانسان والمناخ (وات/م²).

E: معامل انبعاث جسم الإنسان.

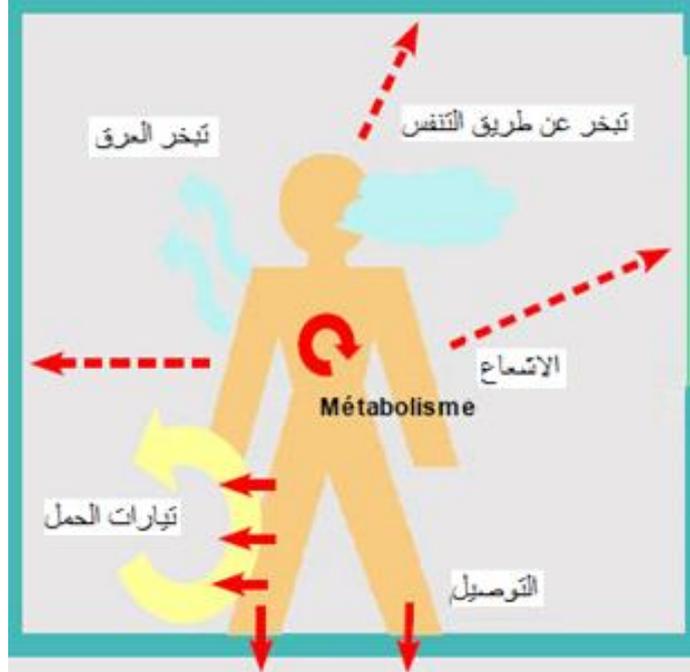
Hr: معامل الإشعاع في الحرارة العادية و هو يعادل $4.6 \times (Tr_x 0.01 + 1)$.

fcl: معامل العزل للملابس.

eff: النسبة الفعالة من جسم الإنسان والتي تؤثر على عملية التبادل الحراري بين الجسم والمناخ المحيط.

Tcl: درجة حرارة الملابس الخارجية (م°).

Tr: متوسط درجة الحرارة الإشعاعية للأسطح المحيطة بجسم الإنسان (م°).



الشكل 1.2. رسم توضيحي للتبادلات الحرارية بين الجسم ومحيطه
(المصدر: مبارك عمار، 2013)

3. عوامل الراحة الحرارية (Thermal comfort factors).

لقد إهتمت العديد من الأبحاث والدراسات بتحديد العوامل المؤثرة في الراحة الحرارية، وبالرغم من الاختلافات بين كل هذه الدراسات وميادين إهتمامها لكنها، أجمعت على أن المحافظة على التوازن الحراري بين جسم الإنسان وبيئته الحرارية متعلق بفئتين من العوامل (عوامل بيئية وعوامل ذاتية)¹.

1.3. العوامل البيئية (Environmental factors).

هي عوامل فيزيائية متعلقة بالخصائص المناخية داخل المجال المعماري، وتعرف كما يلي:

1.1.3. درجة حرارة الهواء

من المؤكد أن درجة حرارة الهواء من أهم العوامل المؤثرة على الراحة الحرارية، فهي تؤثر بشكل مباشر على التوازن الحراري بين الجسم و محيطه، لأنها تدخل في مختلف أنماط التبادلات الحرارية². تستخدم حرارة الهواء كمييار لتقييم الأداء الحراري لعدة مؤشرات تعنى بتحديد مستوى الراحة الحرارية وذلك من باب التبسيط على إعتبار أن حرارة الهواء هي الأكثر تأثيراً³.

2.1.3. الرطوبة النسبية للهواء (Air Relative humidity).

تعرف الرطوبة النسبية بأنها نسبة بخار الماء الموجود في الهواء مقارنة بما يستطيع حمله منه عند نفس الظروف (من درجة حرارة وضغط جوي). وللرطوبة النسبية دور في تحديد الفقدان الحراري للجسم بواسطة التبخر، حيث أن إرتفاع الرطوبة النسبية إلى ما يقارب التشبع يؤثر على قدرة الهواء في تبخير العرق للإستفادة من التبخر في التبريد. وعلى نقيض ذلك فان الهواء الجاف يسمح باستفادة مثالية من ظاهرة فقد الحرارة بالتبخر، وهو ما يدعم الشعور بالراحة في الصيف.

ويرى الباحثان "ليبار وهيرد" (Liébard, Herde)⁴ أن مجال الراحة الحرارية للرطوبة النسبية يتراوح بين 30 و70%.

¹ Cantin, R. et al. (2005). «OP.cit».

² عبد الرحيم، س. (1999). العناصر المناخية والتصميم المعماري، ص49. الرياض: جامعة الملك سعود دار النشر العلمي والمطابع

³ Cordier, N. (2007). « OP.cit ». pp. 61.

⁴ Liébard, A., Herde, A. (2004). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique*, pp. 29. Paris: Ed le Moniteur.

3.1.3. سرعة الهواء (Air speed).

مما تمت الإشارة إليه في التبادل الحراري بواسطة الحمل الحراري أن سرعة الهواء هي عامل محدد لكفاءة هذا النوع من التبادل، بالإضافة إلى تأثيره في عملية فقد الحراري بواسطة التبخر، فكلما زادت سرعة الهواء الملامس للجلد كلما زاد التدفق الحراري وبالتالي الشعور بالرضا في الجو الحار¹. وسيتم التطرق لتأثير سرعة الهواء على الراحة الحرارية بالتفصيل في الفصل الثالث.

4.1.3. الحرارة الإشعاعية (Radiation Temperature).

تتأثر الراحة الحرارية للإنسان بالحرارة الإشعاعية للأسطح القريبة والمواجهة لجسمه، لأهمية التدفق الحراري بين الجسم والأسطح على الشعور بالراحة الحرارية وقد ذهبت بعض الدراسات إلى الإقرار بأن تأثير درجة حرارة الإشعاع أكثر أهمية من تأثير درجة الحرارة الجافة وتعد أكثر الظروف راحة للإنسان هي عندما تكون الحرارة المتوسطة للأسطح أكبر بمقدار 2°م من حرارة الهواء².

2.3. العوامل الفيزيولوجية (Physiological factors).

باعتبار الإحساس بالراحة الحرارية متعلق بالتوازن الحراري بين الجسم وبيئته فهذا يدفعنا إلى إستعراض العوامل الذاتية للجسم (الفيزيولوجية) المتدخلة في مستوى تقبل المحيط الحراري.

1.2.3. نشاط الفرد (Individual Activity).

يعتبر النشاط المبذول من ضمن العوامل الأساسية في شعور الإنسان بالحرارة لأن هنالك علاقة طردية بين الجهد العضلي والفكري مع الحرارة المتولدة داخل الجسم خصوصا مع النشاط العالي الجهد، حيث قد تصل الحرارة المتولدة إلى 10 أضعاف ما ينتجه النشاط الأيضي (Metabolic activity) في حالة راحة. وقد أكدت عدة دراسات أن الطاقة التي يستهلكها الجسم لأداء نشاط ما ذات مردود لا يتجاوز 20 %، أما 80 % المتبقية فتتطرح بشكل حرارة³.

¹ الوكيل، ش. ا.، سراج، م. ع. ا. (1989). المناخ وعمارة المناطق الحارة، ص230. القاهرة: دار عالم الكتب للنشر.

² Bodart, M. (2002). *Création d'un outil d'aide au choix optimisé du vitrage du bâtiment*, pp. 110. Thèse de doctorat. Louvain: Université Catholique de Louvain, Faculté des sciences appliquées, Unité d'Architecture-elgique.

³ الوكيل، ش. ا.، سراج، م. ع. ا. (1989). المرجع السابق. ص231.

- يعرف معدل الأيض (Metabolisme) بأنه كمية الحرارة المنتجة من قبل الجسم في ساعة واحدة في وحدة مساحة (م²)، ويصنف معدل الأيض إلى ثلاث أصناف:¹
- معدل الأيض القاعدي: ناتج عن إستهلاك الطاقة لأداء الأنشطة الحيوية الداخلية وهي بمتوسط 75 وات.
 - معدل الأيض في حالة الراحة: وهي الحرارة الناتجة في حالة الراحة وتصل الى 105 وات.
 - معدل الأيض في حالة نشاط: وهو مقدار الأيض الخلوي المتعلق بنوع النشاط الفيزيائي وحتى الفكري.

2.2.3. نوع الغذاء

إن عملية هضم الطعام تستهلك ما يقارب 10 % من إجمالي السعرات الحرارية لنفس الطعام وهو ما يسمى بالأثر الحراري للطعام²، وعلى هذا الأساس تزداد الطاقة المصروفة بشكل حراري باختلاف نوعية الطعام وهو ما يدفع سكان المناطق الباردة إلى تناول كميات أكبر من الكربوهيدرات، في حين تقل شهية سكان المناطق الحارة.

3.2.3. السن والجنس

الحالة الفيزيولوجية للإنسان تختلف باختلاف السن حيث أن تأقلم الأشخاص الأكبر سناً أبطأ من الشباب، وقد أثبتت الدراسات أن من تجاوز 40 سنة يفضل درجة حرارة فعلية واحدة أعلى ممن لم يتجاوز 40 سنة³.

كما أن الجنس يؤثر على معدل الأيض داخل جسم الانسان وهو منخفض لدى المرأة عنه عند الرجل بمقدار يتراوح بين 0.8 الى 1م² وذلك حسب دراسة أجراها الباحث (Maykot)⁴.

4.2.3. التأقلم (Adaptation).

يعتبر عامل التأقلم العامل الفاصل بين سكان المناطق المناخية المختلفة فيما يخص قدرتهم على تعديل الظروف الغير مناسبة وبالتالي الأداء الحراري الفردي⁵.

¹ Fernandez, p. Lavigne, p. (2009). Concevoir des bâtiments bioclimatique. fondements et méthodes, pp. 93. Paris : Moniteur.

² www.Familydoctor.org.

³ الدميني، ع. ا. غ. (2009). معايير الراحة الحرارية للأبنية السكنية في عدد من المدن اليمنية. مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، 25(2)، ص406.

⁴ Maykot, J. K., Rupp, R. F., Ghisi, E. (2018). A field study about gender and thermal comfort temperatures in office buildings. *Energy and Buildings*, 178, 254-262.

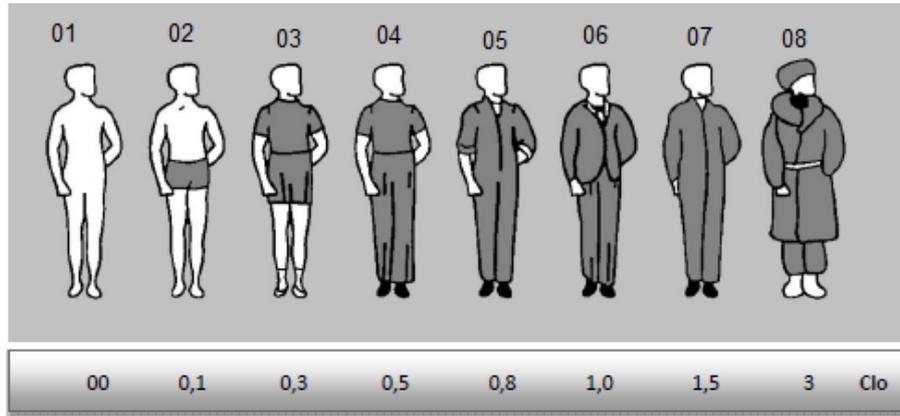
⁵ Thellier, F. (1999). *L'homme et son environnement thermique-Modélisation*, pp. 65. Toulouse: Université de Paul Sabatier.

و التأقلم على نوعين:

- التأقلم الآني، مع مناخ منطقة ذات مناخ جديد بمجرد الإستقرار خلال بضعة أسابيع.
- التأقلم الايكولوجي ويظهر مع طول مدة الإستقرار حيث يحصل التغيير في الصفات العضوية¹ والذي يمس تغيرات أساسية على مستوى كل الجسم، الحجم واللون.

5.2.3. نوعية اللباس

تعتبر الملابس حاجزا لتدفق الحرارة كما أنها تقلل من الإحساس بالتفاوت الحراري باعتبار أنها تنشئ مناخا مصغرا إنتقاليا بين الجلد والبيئة الحرارية، وقد أجريت عدة دراسات اهتمت بتصنيف نوعية اللباس بحسب ما يسمى معامل عزل الملابس (Clo) والذي تختلف قيمه باختلاف نمط اللباس ونوعية النسيج². الشكل 2.2 يظهر تصنيفا مبسطا لذلك.



الشكل 2.2. قيم معامل العزل الحراري للملابس باختلاف نوع اللباس.

(المصدر: Thelie F.1999)

3.3. العوامل النفسية والاجتماعية

هناك من الباحثين من إهتم بدراسة الجانب النفسي والاجتماعي على الراحة الحرارية من أمثال "فرونترال" (Frontezale)³ و"تير مورس" (Ter Mors)⁴ وأكدوا من خلال الدراسات أن هذه العوامل تتعلق أساسا بالمستوى الفكري ومقدار التركيز في العمل والتوتر.

¹ عبد الجليل، ف. وآخرون. (1985م). علم البيئة. الموصل: مطبعة جامعة الموصل.

² Thelie F. (1999). «OP.cit»..p65.

³ Frontezale, M., Wargocki, P. (2011). Literatene survey of how different factors influence human confort in under environments. *Building and environment*, 46, 922-937.

⁴ Mors, S. T., et al. (2011). Adaptive thermal confort in primary school classrooms: creating and validating PMV based confort charts. *Building and environment*. 46. 2454-2461.

4. تقييم الراحة الحرارية (Evaluation of thermal comfort).

تطرق الباحثون في مجال تقييم الراحة الحرارية إلى مفهوم منطقة الراحة الحرارية التي يفسرها "أولجاى" (Olgay)¹ بأنها تمثيل لتداخل الخصائص البيئية (حرارة الهواء، الرطوبة، سرعة الهواء والإشعاع)، وهي حالة حرارية لا تتطلب بذل جهد كبير من قبل الجسم للتأقلم معها في حين عرفتها المؤسسة الأمريكية للتبريد والتسخين (ASHREA) بأنها منطقة ذات حدود متغيرة بتغير الموقع الجغرافي والموسمي.

تعددت مؤشرات (Indexes) تقييم الراحة الحرارية نتيجة لتعدد العوامل الداخلة فيها، خصوصاً وأن مختلف هاته العناصر مترابطة ومتداخلة التأثير سواء تعلق الأمر بالعوامل البيئية المحيطة أو العوامل الذاتية للمستخدم. مما أدى بالباحثين إلى إجراء العديد من الدراسات المخبرية، التي أختيرت لأجلها عينات تحاكي المجتمع في تنوعها لتمثله تمثيلاً صادقاً، وتم وضعها ضمن ظروف مناخية متباينة لدراسة مدى إستجابتهم لكل عامل من العوامل المؤثرة في الراحة الحرارية، وذلك لأجل تحديد مجال مريح للإنسان لكل من العوامل، حتى يكون مرجعاً لتقييم الأداء الحراري للمبنى.

وقد تطرقت العديد من الأوراق البحثية إلى أنواع المؤشرات الخاصة بتقييم الراحة الحرارية والتي يرى "كوهين" (Cohen)² أنها تتجاوز 40 مؤشراً. وقد تطرقت معظم هذه المؤشرات إلى عاملين فأكثر من العوامل المؤثرة في الراحة الحرارية، لأن التطرق لعنصر واحد بشكل منفصل لا يمكن الإعتماد عليه في مقارنة التقييم. وقد أضفت مخرجات هذه المؤشرات إلى إقتراح معادلات أو رسوم بيانية يعتمد عليها من أجل تحديد درجات الحرارة المحايدة، المريحة أو إقتراح منطقة للراحة الحرارية.

هناك ثلاثة أصناف من مؤشرات الراحة الحرارية ومؤشر للإحساس الحراري:

- تقييم الراحة بالإعتماد على عنصر واحد: وأغلبها يعتمد على درجة الحرارة، وهي مؤشرات غير دقيقة.
- المؤشرات المركبة: هي مؤشرات أكثر دقة من سابقتها لاعتمادها على عدة عوامل، لكنها تبقى في نطاق تأثير العوامل البيئية فقط مثل (الحرارة والرطوبة) وتحمل الجوانب الذاتية للمستخدم.
- مؤشرات مناخية فيزيولوجية: هي نماذج تأخذ في الإعتبار العديد من العناصر المناخية بالإضافة إلى بعض العوامل الفيزيولوجية، وهي بشكل مخططات بيانية يتم تحديد النقاط المراد تقييمها عليها وملاحظة إن كانت

¹ Olgay, V. (1963). . "OP.cit".

² Cohen, P., Potchter, O., Matzarakis, A. (2013). Human thermal perception of Coastal Mediterranean outdoor urban environments. *Applied Geography*, 37, 1-10.

ضمن نطاق منطقة الراحة أم لا. ومن أشهر الأمثلة لهذه البيانات نجد: المخطط البياني للباحث "تايلور" (Taylor) والباحث "سانجر" (sanjer).

-أما مؤشر الإحساس الحراري وهو موضوع الدراسة فسوف يتم التطرق إليه بالتفصيل في هذا الفصل وفي الجزء التطبيقي.

1.4. مؤشر الإحساس الحراري (Thermal sensation index).

بحسب عدة باحثين من أمثال "موداست" (Modeste)¹ يعتبر هذا المؤشر أكثر المؤشرات دقة وأهمية لأنه يتناول الراحة الحرارية من زاوية رضا المستخدمين ويحدد لذلك مستويات للتقييم. ويرى "فانجر" (Fanger)² و"أوليسيمز" (Auliciems)³ أن استخدام هذا النوع من التقييم هو الأكثر ملاءمة لحالة المباني لأن من خلاله يمكن تحديد درجات الحرارة الداخلية المرغوبة التي تعبر عن الإحساس بالرضا، وهو ما يسمح بالعمل على توفير حرارة ملائمة في المباني المكيفة والتي تنعكس بدورها على الإستهلاك الطاقوي (Energy consumption)، كما أنه يمكن تعزيز التصميم دعماً لمبدأ الحفاظ على الطاقة خصوصاً ما تعلق بالتهوية وتقنيات التبريد⁴.

1.1.4. مفهوم الإحساس الحراري

يعرف معيار "آشري" (ANS/ASHRAE-55) الإحساس بالراحة الحرارية بأنها: "الحالة الذهنية التي تشير إلى الإرتياح مع البيئة الحرارية"⁵ فهو مفهوم يرتبط بمدى تقبل الشخص للمحيط الحراري بأن لا يشعر بالبرد أو الحر. ويعتمد التقييم وفق مؤشر الإحساس الحراري على اختيار عينات (Samples) تمثل الفئة المستهدفة من الدراسة ويتم إخضاعها لعدة تغيرات على مستوى البيئة الحرارية، وفي كل مرة يتم سؤالهم عن شعورهم في نفس الوقت الذي ترفع فيه القياسات، وتكون الإجابة باختيار أحد المقترحات من أصل 7 (من بارد جدا حتى حار جدا) كما يظهره الجدول 1.2.

¹ Modeste, K. N., Tchinda, R., Ricciardi, P. (2014). Thermal comfort and air movement preference in some classrooms in Cameroun. *Revue des Energies Renouvelables*, 17 (2), 263-278.

² Fanger, PO. (1970). Thermal comfort-analysis and applications in environmental engineering. *Danish Technical Press*, pp. 244.

³ Auliciems, A., Szokolay, S. (2007). *Thermal Comfort*, PLEA: Passive and Low Energy architecture International in association with Department of Architecture. Brisbane: The Univ of Queensland.

⁴ Wagner, A., Gossauer, E., Moosman, C., Gropp, Th., Leonhart, R. (2007). Thermal comfort and workplace occupant satisfaction-results of field studies in German low energy offices. *Energy & Buildings*, 39, 758-769.

⁵ American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc, ANSI/ASHRAE Standard 62.1e, 2013. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality (USA).

الجدول 1.2. تصنيف درجة الإحساس الحراري على مقياس "آشري" (ASHREA).

3+	2+	1+	0	1-	2-	3-	مقياس آشري (ASHREA)
حار جدا	حار	دافئ قليلا	محايد	بارد قليلا	بارد	بارد جدا	الإحساس الحراري

وتجدر الإشارة إلى وجود مقياس مشابه يسمى مقياس "بدفورد"، يعتمد على نفس التصنيف مع إختلاف في التأكيد على الحر أو البرد فيما يخص إجابة المستخدمين، لكنه أقل إستخداما من مقياس "آشري" (ASHREA).

لتقييم الإحساس بالراحة الحرارية، يتم إستخدام نموذجين دوليين: النموذج العقلاني¹، ونموذج التصويت الذاتي².

2.1.4. النموذج العقلاني (The objective model).

هو نموذج حسابي أساسه النتائج المخبرية التي أجراها الباحث "فانجر" (Fanger)³ في الغرف المناخية المجهزة خصيصا لهذه الأبحاث، حيث يتم التحكم في مختلف العوامل البيئية من خلال تعديل أجواء هذه الغرف، في حين يتم التحكم في العوامل الذاتية من خلال إختيار العينات البحثية وظروفهم. فالنموذج يربط بين نظرية التوازن الحراري والتنظيم الفيزيولوجي (تنظيم تدفق الدم، التعرق والارتجاف)، وقد أخذت بعض الشروط أثناء العمل المخبري: بأن يكون الجسم في حالة توازن وذلك بمنحه مدة 15 دقيقة للتأقلم، وأن تكون العينات لا تعاني من خلل في الجسم كالمريض، بالإضافة إلى تتبع معدل حرارة الجلد وعملية التعرق بأن تكون في حدود معينة (مقبولة).

ومن أجل التنبؤ بظروف المجال الحراري المحايد قام الباحث بتتبع العمليات الفيزيولوجية المسؤولة عن التوازن الحراري في حالة إقترابها من الحياد (الاقتراب من الاستقرار).

في بداية الدراسات قام الباحث بالسعي إلى إيجاد معادلات خطية بين مستوى النشاط المبذول ومعادلات التعرق وقد أجريت الدراسة على 183 عينة من الطلبة الجامعيين الذين ألبسهم ملابس موحدة،

¹ International Standardization Organization, ISO7730, 2005. Moderate thermal environments, Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort (Switzerland).

² International Standardization Organization, EN ISO 10551. Ergonomics of the thermal environment, Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales.

³ Fanger, P. O. (1967). Calculation of thermal comfort: introduction of a basic comfort equation. *ASHRAE Transactions*, 73(2), III4.1-2.

وأُتبع الدراسة بـ: 20 عينة، ليستنتج علاقة خطية بين مستوى النشاط (حالة الراحة، نشاط خفيف، متوسط ونشاط عالي الجهد). ليتوصل بعد ربط العلاقة الخطية المستخرجة مع معادلات التوازن الحراري إلى إقترح معادلة الراحة، التي تهدف إلى توقع الظروف الحرارية المحققة للراحة. لتخضع المعادلة فيما بعد للعديد من التطويرات من خلال الدراسات المصحوبة باستخدام مقياس آشري (ASHREA). وقد اقترنت معادلة الراحة المطورة بهذا المقياس ذو السبع نقاط ليأخذ اسم مؤشر توقع التصويت "PMV" (Predicted Mean Vote)، ويضاف إليه فيما بعد مؤشر توقع نسبة الأشخاص الغير راضين "PPD" (Predicted Percentage of Dissatisfied)¹

1.2.1.4. مؤشر توقع معدل التصويت "PMV"

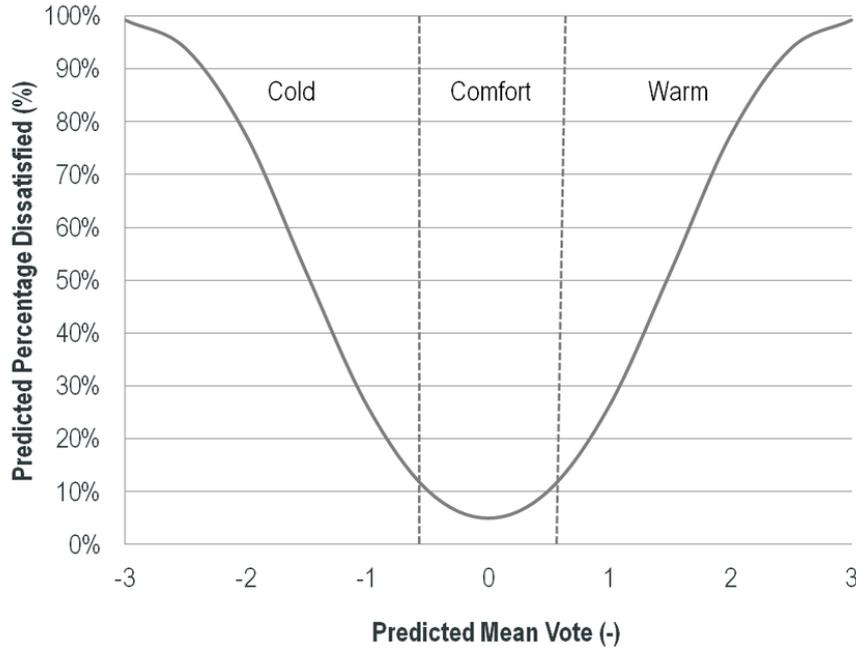
هو مؤشر يتنبأ بمتوسط قيمة تقييم المناخ لمجموعة كبيرة من الناس، فهو يمثل توقع معدل التصويت على مقياس "آشري" (ASHREA) من (-3) إلى (+3)، ووفقاً لتوجيهات النموذج فان قيمة (0) لمؤشر "PMV" تمثل الحالة المحايدة للراحة الحرارية، مع هامش 0.5 في الاتجاهين الموجب والسالب كأقصى قيمة لمجال الراحة الذي يقابل الحرارة الفعالة (سيتم التطرق إليها تفصيلاً في الفصل التطبيقي الأول). ويضم هذا المؤشر مختلف العوامل الأساسية المؤثرة في الإحساس الحراري، فهو يأخذ بعين الاعتبار مقدار تأثير كل تغير يطرأ على أي عامل بيئي (حرارة الهواء، رطوبة الهواء، سرعة الهواء، الحرارة الإشعاعية)، والعوامل الذاتية (معامل عزل الملابس ونوعية النشاط)².

2.2.1.4. نسبة الأشخاص الغير راضين "PPD"

نظراً للاختلافات الفيزيولوجية من شخص لآخر، فإنه من غير الممكن توفير الوسط الحراري المثالي لكل الأشخاص في نفس الوقت، لذلك لجأ الباحث إلى اضافة مؤشر "PPD"² للتعبير عن نسبة الأشخاص الغير مرتاحين حيث أنه كلما كانت النسبة أقل كلما عبر ذلك عن مدى ملاءمة الوسط الحراري بمختلف ظروفه ويبين الشكل 3.2. العلاقة بين قيم "PMV" وقيم "PPD" حيث يظهر بأن (PMV = 0) توافق قيمة دنيا لعدم الرضا 5% أي أنها نقطة الحياد. كما يتضح أنه لما (-0.5 < PMV < 0.5) فان (PPD < 10).

¹ Bluysen, P. M. (2009). The indoor environment handbook. London: Earthscan.

² ISO 7730: (2005). «OP.cit».



الشكل 3.2. العلاقة بين "PMV" و "PPD"

(المصدر: www.researchgate.net/figure/PMV-to-PPD-relationship)

3.1.4. النموذج الذاتي: متوسط التصويت الواقعي (Actual Mean Vote)

("AMV")

هو نموذج يركز على الدراسات الميدانية (Field studies) عن طريق الاستبيان (Questionnaire) لتقييم الإحساس الحراري للناس في بيئاتهم الفعلية¹ وهم يؤدون نشاطهم بصورة حقيقية، ووفق مجال الحرية المتوفر لديهم فيما يخص نزع أو إضافة الملابس وكذلك حرية الحركة التي تسمح بها أنشطتهم بالإضافة إلى تأثير العامل النفسي كضغط العمل مثلاً. إذا فالنموذج لا يخضع لتأثير جو المختبر بخلاف الحال في النموذج العقلاني، حيث يتصرف الأشخاص بشكل طبيعي لاستعادة التوازن في حال إختلاله.

وتظهر نتائج هذا النموذج بشكل معادلة خطية تربط بين قيم "AMV" ودرجات الحرارة الفعالة. وينطبق عليه ما ينطبق على "PMV" فيما يخص القيم الموافقة لمجال الراحة الحرارية.

تكمن أهمية هذا النموذج في كونه يزود المصممين المعماريين بمعلومات أدق عن ظروف المحيط الحراري المناسب لمستخدمي المجال الفعليين، وكون النموذج يركز على نتائج الدراسات الميدانية فهذا يساهم في تطوير إجراءات ذات كفاءة أكبر في توفير الإستهلاك الطاقي.

¹ EN ISO 10551. «OP.cit».

5. دراسات سابقة حول استخدام مؤشر الإحساس الحراري

لقد إنطلقت النظريات الحديثة المتعلقة بمحاولة تقييم الراحة الحرارية وعواملها في مخبر "جون بارتلي بيرس" (John Bartle Pierce) في ثلاثينات القرن الماضي، مع دراسة "جايج" (Gagge)¹،² الذي إقترح نموذجين (حرارة الجسم وحرارة الجلد) وذلك لتحليل التبادل الحراري بين الجسم الإنساني والوسط الحراري. في بداية سنوات الخمسينات كتب "هوتر" (Houghter) و"لو" (Lou) أول موضوع يتطرق إلى المفهوم الأولي للحرارة الفعالة (To) وهو المفهوم الذي تم تبنيه على نطاق واسع في تلك العشرية³، ثم عرف تطورا متسلسلا خلال سنوات السبعينات من خلال عدة أبحاث والتي من أهمها أبحاث "فانجر" (Fanger)⁴ الذي أدخل مفهوم توقع متوسط التصويت "PMV" ونسبة عدم الرضا "PPD". في سنة 2002 قام "أولسن" (Olesen) وغيره⁵ بتنظيم تدرج نماذج تقييم الراحة الحرارية في مقالة علمية بعنوان:

"النموذج الأساسي لتقييم الراحة الحرارية" وهو نموذج يركز على مؤشري "PMV" و "PPD". وفي عام 2004 أصدرت "آشري" (ANSI/ASHRFA-55)⁶ نموذجا لتقييم الراحة الحرارية "ISO:7730" وهو نموذج عقلائي يعتمد على إدخال مجموعة من العوامل الفيزيائية، والذاتية، والذي أعتمد في تطويره على مجموعة من التجارب والأبحاث الميدانية المعتمدة على قياس العوامل الفيزيائية وتوزيع الاستبيانات وذلك داخل غرف مخبرية مجهزة خصيصا لذلك.

في دليل البيئة الداخلية⁷ كتب "بلويسر" (Bluysser) عن تاريخ تقييم الراحة الحرارية داخل الحيز المعماري والعوامل القادرة على التأثير في الإحساس بالراحة. وقد اقترح الباحثون ضرورة التطوير المتواصل للنموذج من خلال الدراسات النقدية، وذلك من أجل التأكيد على مدى ملاءمته لخصوصية بعض الأنشطة

¹ Gagge, A.P. (1946). The linearity criterion as applied to partitional calorimetry. The American Journal of physiology, 116, 656-668.

² Fabbri, K. (2013). Thermal comfort evaluation in kindergarten: PMV and PPD measurement through datalogger and questionnaire. *Building and environment*, 68, 202-214.

³ Gagge, A.P., Fobelets, A.P., Berglund LG. A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHARE Transactions*, 92(2), 709-731.

⁴ Fanger, P.O. (1970). «OP.cit».

⁵ Olesen, B W. Parson, K C. (2002). Introduction of thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730. *Energy and Buildings*, 34, 537-548.

⁶ ANSI/ASHRAE Standard 62.13 (2013). «OP. cit».

⁷ Bluyssen, P. M. (2009). «OP. cit».

أو المناخات لتوسيعه عند موافقته للدراسات الميدانية من خلال الإستبيان بإتباع نموذج "ISO:10551" وإقتراح تصحيحه أو إبراز الحالات الخاصة في حالة عدم توافق النتائج. فهو نموذج ومرجع بحاجة للتطوير الدائم لغرض توسيع إستخدامه وشموليته من خلال إدخال خصوصية أي مناخ أو نشاط ضمن تطبيقاته.

و هو ما دفع بالعديد من الباحثين إلى محاولة تطويره المستمر فنجد من درسوا تأثير طبيعة المناخ والتأقلم مثل "عبد الله" (Abdallah)¹ و"كومار" (Kumar)² الذين أجمعوا على ضرورة دراسة خصوصية الراحة الحرارية لكل مناخ محلي.

وقام العديد من الباحثين من أمثال "يي" (Ye)³ "شالن" (Schellen)⁴، "فابري" (Fabbri)⁵ و"مايكوت" (Maykot)⁶ بدراسة تأثير الجانب الفيزيولوجي على الشعور بالراحة الحرارية سواء تعلق الأمر بتأثير السن أو تأثير الجنس. حيث اتضح من هذه الدراسات أن الأطفال أكثر تأثراً بتغير درجات الحرارة، والنساء أكثر تحملاً للحرارة بمقدار يتراوح بين 0.8 و1°م من الرجال.

في حين اهتم آخرون مثل "يينج" (Ying)⁷، "كارفالو" (Carvalho)⁸ و"ركوجلليا" (Raccuglia)⁹ بتأثير اللباس على الراحة الحرارية، وقد ساعدت مثل هاته الأعمال على إدراج معامل عزل الملابس بشكل أدق في تحديد مجالات الراحة الحرارية.

¹ Abdallah, A. S. H. (2015). Analysis of thermal comfort and energy consumption in long time large educational halls (studios). *Procedia engineering*, 121, 1674-1681. Assiut: Assiut university.

² Kumar, S., Singh, M. K., Loftness, V., Mathur, J., Mathur, S. (2016). Thermal comfort assessment and characteristics of occupant's behavior in naturally ventilated buildings in composite climate of India, *Energy Sustain*, 33, 108-121.

³ Ye, Y., Zhiwei L., Weiwei, L., Qi, S. (January 28, 2008) Experimental study on physiological responses and thermal comfort under various ambient temperatures. *Physiology & Behavior*, 93(1-2), 310-321.

⁴ Schellen, L., Loomans, M. G. L. C., Kingma, BRM., De Wit, MH., Frijns, AJH., Van Marken Lichtenbelt, WD. (January 2013). The use of a thermophysiological model in the built environment to predict thermal sensation: coupling with the indoor environment and thermal sensation. *Building and Environment*, 59, 10-22.

⁵ Fabbri, K. (2013). «OP.cit».

⁶ Maykot, J. K., Rupp, R. F., Ghisi, E. (2018). «OP.cit».

⁷ Ying, BA. et al. (2004). Mathematical modeling of thermal physiological responses of clothed infants. *Journal of Thermal Biology*, 29(7-8), 559-565.

⁸ de Carvalho P. M. et al. (January 2013). Influence of weather and indoor climate on clothing of occupants in naturally ventilated school buildings. *Building and Environment*, 59, 38-46.

⁹ Raccuglia, M. et al. (November 2018). Clothing comfort during physical exercise – Determining the critical factors. *Applied Ergonomics*, 73, 33-41.

كما قام العديد من الباحثين بدراسة تأثير نوعية النشاط وظروفه على الشعور بالراحة الحرارية وعالجوا مجموعة من الأنشطة الخاصة لشاغلي الحيز المعماري مثل النوم كنشاط ذو خصوصية في بحث "كريس" (Chris)¹ ودراسة "مايكوت" (Maykot)² للراحة في مباني المكاتب وقام "ديركس" (Derks)³ بدراسة الراحة الحرارية في المستشفيات. وتندرج هذه الأبحاث في سياق تحديد أكثر دقة لمجالات الراحة الحرارية في المباني المدروسة بغية الوصول إلى تحكم طاقتي أكثر كفاءة.

وقد أجريت بعض الدراسات آخذة بعين الاعتبار كثافة شاغلي الحيز^{4, 5} بإتباع المنهج الإحصائي للطاقة كما أصدرت مجموعة من المقالات والأعمال البحثية على الرغم من قلتها والتي إهتمت بدراسة الراحة الحرارية في المساجد مثل:

– البحث الذي أجراه "كاليس" (Calis)⁶. 2015 وغيره⁶: وقد هدفت الدراسة إلى اجراء بحث ميداني لتقييم الراحة الحرارية وظروفها في مساجد المناخ الحار الرطب المهواة طبيعياً، وأجريت في فصل الحر بمنطقة إزمير بدولة تركيا، وهي منطقة تصل الحرارة المتوسطة القصوى بها في شهر أوت إلى 33°م، وتتجاوز الرطوبة النسبية للهواء 40%. و قد أختير لإجراء الدراسة مسجد تاريخي بني عام 1907م، وتم الإعتماد على مسجد واحد للدراسة من باب التقليل من العوامل المتغيرة المتعلقة بالمبنى. أنظر الشكل 4.2.

¹ Chris, L., Sleep, H. G. (2013). Thermal comfort and the energy saving potential due to reduced indoor operative temperature during sleep. *Building and Environment*, 59, 91-98.

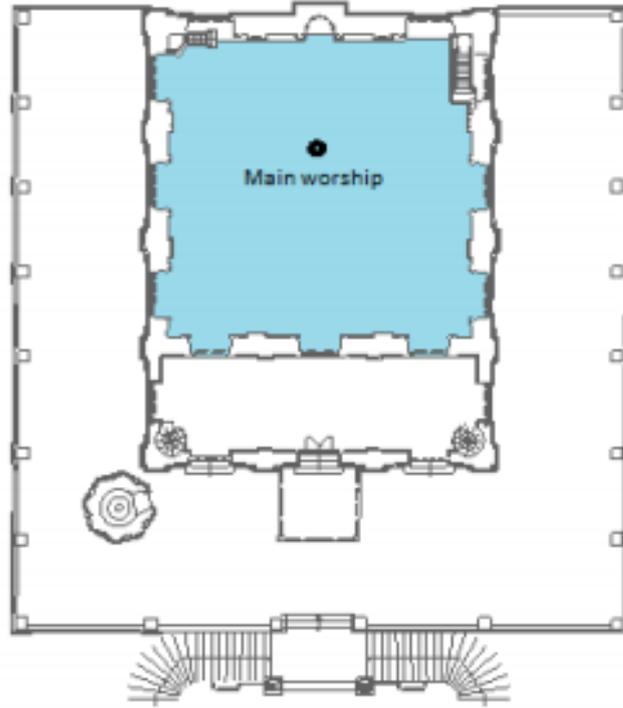
² Maykot, J. K., Rupp, R. F., Ghisi, E. (2018). «OP.cit».

³ Derks, M. T. H., Mishra, A. K., Loomans, M. G. L. C., Kort, H. S. M. (2018). Understanding thermal comfort perception of nurses in a hospital ward work environment. *Building and Environment*, 140, 119-127.

⁴ Yanga, J., Santamouris, M., Leea, S. E., Deb, C. (2016). Energy performance model development and occupancy number identification of institutional buildings. *Energy and Building*, 123, 192–204.

⁵ Hyuna, K., Minhyun, L., Taehoon H., Jun-Ki, C. (2018). Determining the optimal occupancy density for reducing the energy consumption of public office buildings: A statistical approach. *Building and Environment*, 127, 173-186.

⁶ Calis, G., Atil, B. Kuru, M. (2015). Thermal Comfort and occupant Satisfaction of a Mosque in a Hot and Humid Climate. *Computing in Civil Engineering*.



الشكل 4.2. مخطط ونقطة رفع القياس في دراسة الباحث "كاليس" (calis. 2015)

أما منهجية دراسته فاعتمدت المقارنة بين نتائج النموذج العقلاني (ISO:7730) عن طريق قياس الظروف المناخية داخل الحيز المعماري، والنموذج الذاتي (ISO:10551) عن طريق توزيع الإستبيانات وشملت في مجملها معالجت 95 إستبيان خلال أوقات الصلاة. واعتمد في المقارنة بين نتائج النموذجين على مؤشر معدل توقع نسبة التصويت (PMV) ومعدل توقع نسبة عدم الرضا (PPD).

أظهرت النتائج عدم ملاءمة النموذج العقلاني لتقييم الراحة الحرارية في مساجد المناخ الحار الرطب بسبب الفوارق الكبيرة بينه وبين النموذج الذاتي. كما أوجد البحث نتيجة مفادها بأن المصلين في هذا المناخ يفضلون درجات الحرارة الفعالة المرتفعة نسبياً، بحيث وصلت الحرارة الحيادية لشهر سبتمبر إلى 27°م.

– الورقة البحثية لـ "العجمي" (Al-ajmi). 2010¹ :

حول تقييم الراحة الحرارية في المساجد المكيفة آلياً وهي دراسة أجريت في دولة الكويت ذات المناخ الصحراوي الجاف، حيث تبلغ الحرارة المتوسطة القصوى 45°م ورطوبة نسبية تتراوح بين 14 و 42%. وكان

¹ Al-ajmi, F. F. Loveday D. L. (2010). Indoor thermal conditions and thermal comfort in air-conditioned domestic buildings in the dry-desert climate of Kuwait. *Building and Environment*, 45, 704-710.

المهدف من الدراسة هو إيجاد تقييم للراحة الحرارية في المساجد المكيفة بالمناخ الحار الجاف. وقد أختيرت للدراسة ستة 6 مساجد واعتمدت ثلاثة معايير في الإنتقاء:

- التقارب في الحجم والأبعاد كما يظهره الجدول 2.2.

- المساجد مكيفة تكييفاً مركزياً.

- نفس مواد البناء المستخدمة.

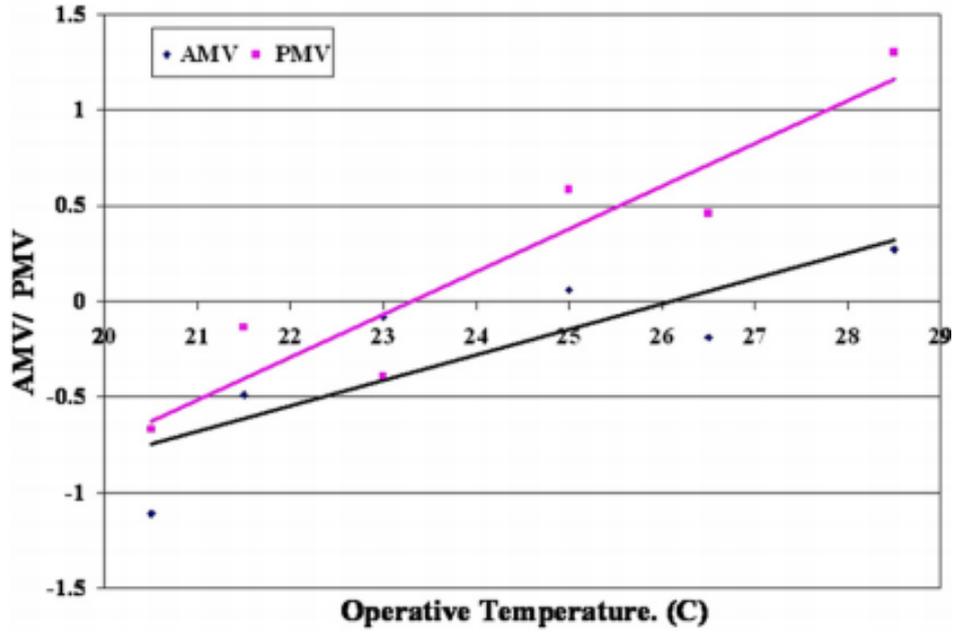
- التقارب الزمني في تاريخ التشييد.

وهذه المعايير المعتمدة تؤكد على أهمية تثبيت العوامل المؤثرة في الراحة الحرارية قدر المستطاع من أجل دقة النتائج.

الجدول 2.2. أبعاد وأحجام المساجد المختارة في دراسة "العجمي". (المصدر: Al-ajmi, F. F. 2010)

Prayer hall no.	Area (m ²)	Height (m)	Volume (m ³)
1	21×19	9	3591
2	22×22	10	4840
3	50×25	9	11250
4	27×25	6	4050
5	25×20	8	4000
6	24×26	10	6240

أما منهجية بحثه فاعتمدت نفس منهجية الدراسة السابقة باستخدام النموذج العقلاي (ISO:7730) بالقياس، والنموذج الذاتي (ISO:10551) بالإستبيان. وقد شملت الدراسة في مجملها 140 عينة خلال أوقات الصلاة. وخلصت النتائج التي يمثلها الشكل 5.2. إلى أنه في حالة المساجد المكيفة في المناخ الحار الجاف يشعر المصلون بالراحة الحرارية حتى في درجات حرارة فعلية أعلى بمقدار 2.8°م منها في حالة النموذج العقلاي. حيث سجلت الحرارة الحيادية قيمة 26.0°م. وفسر الباحث ذلك بأنه راجع إلى التأثير الكبير لعامل تأقلم سكان المناطق الحارة مع مناخهم المحلي.



الشكل 5.2. نتائج تغير مؤشر توقع التصويت (PMV) و (AMV) بدلالة الحرارة الفعالة (To)

في دراسة "العجمي". (المصدر: Al-ajmi, F. F. 2010)

وتجدر الإشارة الى أنه زيادة على قلة الأبحاث المتعلقة بدراسة الراحة الحرارية في المساجد فإن الدراسات المنجزة لم تعالج تأثير حركة الهواء على الإحساس الحراري للمصلين، بالرغم من الدراسات العديدة المنجزة في هذا السياق في المباني الأخرى مثل:

- "دو دير" (De dear)¹:

الذي درس تأثير التهوية الطبيعية على الراحة الحرارية في المناخ الحار الرطب بالمباني العامة بـ: "سنغافورة" و الباحث "أوجبانا" (Ogbanna)² الذي درس تأثير التهوية الطبيعية في مساكن المناخ الحار الجاف بنيجيريا.

¹ de Dear, R. J. et al. (1991). Thermal Comfort in the Humid Tropics: Field Experiments in Air Conditioned and Naturally Ventilated Buildings Singapore. International Journal of Biometeorology, 34, 259-265.

² Ogbonna, A. C., Harris, D. J. (2008). Thermal Comfort in Sub-Sahara Africa: Field Study Report in Jos-Nigeria. Applied Energy, 85 (1), 1-11.

- "تشاو" (Chow). 2010 وغيره.¹:

أثبتوا من خلال الدراسة والإستبيان لعينات من الطلبة في المناخ الحار الرطب بمدينة "هونك كونغ" أن الناس حساسون بدرجة كبيرة لأي تغير ولو بسيط في درجة الحرارة أو في سرعة الهواء بدرجة أكبر من تأثير التغير في الرطوبة النسبية. وأثبتت نتائج دراستهم بأنه مع سرعة الهواء الجسدية عند 0.1-0.2 م/ثا وعزل الملابس 0.55، ومعدل الأيض 1 ميتابوليزم، تم العثور على درجة الحرارة المحايدة 25.4°م لبيئة العمل المستقرة.

- بالإضافة الى أعمال "موداست" (Modest). 2014 وغيره.²:

الذين درسوا تأثير سرعة الهواء على الراحة الحرارية في الفصلين (الفصل الماطر والفصل الجاف) في أقسام الدراسة بدولة الكاميرون. وقد شملت الدراسة 30 قسم دراسي موزعة على ستة مدارس ذات تهوية طبيعية. حيث يظهر الشكل 6.2. نماذج من هاته الأقسام وهي تحوي عينات الدراسة. أما أدوات البحث فاعتمدت نفس منهجية الدراسة السابقة باستخدام النموذج العقلاني (ISO:7730) بالقياس، والنموذج الذاتي (ISO:10551) بالإستبيان.

وخلصت الدراسة إلى أن الزيادة في سرعة الهواء هي عامل أساسي في زيادة الشعور بالرضا لما يتجاوز توقع النموذج العقلاني، خصوصا في الفصل الرطب أين فضل الطلاب زيادة في سرعة الهواء حتى في حالات كانت الحرارة في حدود 20°م. ويظهر الجدول 3.2. معادلات الإحساس الحراري المستخرجة بدلالة تغير سرعات الهواء والرطوبة النسبية.



الشكل 6.2. عينات من أقسام الدراسة التي شملتها دراسة "موداست" (المصدر: Modeste, K. N. 2014)

¹ Chow, T.T. et al. (2010). Thermal sensation of Hong Kong people with increased air speed, temperature and humidity in air-conditioned environment. *Building and Environment*, 45(10), 2177-2183.

² Modeste, K. N., Tchinda, R., Ricciardi, P. (2014) . . "OP.cit".

الجدول 3.2. معادلات الإحساس الحراري المستخرجة بدلالة سرعات الهواء والرطوبة النسبية. (المصدر: Modeste, 2014)

Relative Humidity (%)	Air velocity (m/s)	Air Temperature (°C)	PV equation	R ²	Neutral Temperature (°C)	Air more	Velocity No change	Preference Less
45% ≤ RH ≤ 55%								
	0.0–0.2	18–22	PMV = 0.195T _a - 4.061	0.973	20.83	31.5%	43.7%	24.8%
	0.2–0.4	22–26	PMV = 0.240T _a - 5.725	0.935	23.85	52.7%	43.4%	3.9%
	0.4–0.6	26–30	PMV = 0.211T _a - 5.618	0.866	26.75	65.1%	34.9%	0.0%
55% ≤ RH ≤ 65%								
	0.0–0.2	18–22	PMV = 0.232T _a - 4.870	0.985	20.99	17.6%	52.8%	29.6%
	0.2–0.4	22–26	PMV = 0.170T _a - 4.120	0.991	24.35	68.8%	21.2%	0.0%
	0.4–0.6	26–30	PMV = 0.184T _a - 4.871	0.994	26.47	89.7%	10.3%	0.0%
65% ≤ RH ≤ 75%								
	0.0–0.2	18–22	PMV = 0.245T _a - 5.220	0.995	21.31	78.0%	14.6%	7.4%
	0.2–0.4	22–26	PMV = 0.230T _a - 5.723	0.981	24.88	100.0%	0.0%	0.0%
	0.4–0.6	26–30	PMV = 0.179T _a - 4.817	0.928	26.91	52.3%	21.4%	26.3%

وبرغم من أنه قدم تفصيلاً لمعادلات الراحة في أقسام الدراسة بالمناخ الحار إلا أن تصنيفه وبالنظر لمعطيات الدراسة الميدانية قد بدأ من الرطوبة النسبية 45% فأكثر.

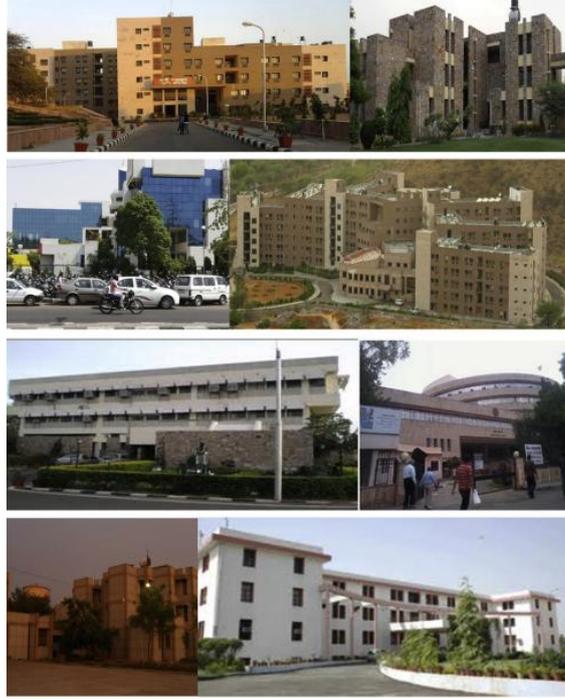
– "كومار" (Kumar). 2016 وغيره.¹:

أجرى دراسة في مختلف المناطق المناخية في الهند، وإهتمت الدراسة بالمباني ذات التهوية الطبيعية حيث شملت 32 بناية ذات تهوية طبيعية، وتم جمع 2610 عينة موزعة على فترة إجمالية قدرها أربع سنوات. ويقدم الشكل 7.2. صوراً لبعض هذه الأبنية.

أما منهجية البحث فاعتمدت نفس منهجية الدراسة السابقة باستخدام النموذج العقلاني (ISO:7730) بالقياس، والنموذج الذاتي (ISO:10551) بالإستبيان.

فوجد من خلال دراسته أنه في حالة الحرارة الفعالة من 22° إلى 26°م تكفي سرعة هواء أقل من 0.25 م/ثا لتوفير الراحة الحرارية، في حين أنه في المناطق الحارة يجب أن تتراوح سرعة الهواء من 0.2 م/ثا إلى 0.5 م/ثا لزيادة الإحساس بالرضا في درجات حرارة أعلى.

¹ Kumar, S. et al. (2016). An adaptive approach to define thermal comfort zones on psychometric chart for naturally ventilated buildings in composite climate of India. *Building and Environment*, 109, 135-153.



الشكل 7.2. عينات من أقسام الدراسة التي شملتها دراسة "موداست"

(المصدر: Modeste, K. N. 2014)

وقد كشفت هذه الدراسة على وجود فارق مقداره 0.5°C كإضافة لمجال الراحة الحرارية بالتزامن مع زيادة سرعة الهواء من 1.0 إلى 1.5 م/ثا. لذلك فإن الدراسة إقترحت سرعة الهواء 1.0 م/ثا كأقصى قيمة لتوفير الراحة الحرارية دون إستهلاك طاقة إضافية على مستوى المراوح.

وبخصوص تأثير سرعة الهواء على الحرارة القصوى المقبولة أكد "سورابيرج" (Surapong) وغيره.¹ على أهمية التبريد السلبي من خلال دعم سرعة الهواء حيث يوافق إرتفاع الحرارة الفعالة من 30.9°C إلى غاية 38.2°C زيادة في سرعة الهواء من 0.2 م/ثا إلى غاية 1.42 م/ثا لتوفير جو حراري مقبول.

¹ Nicol, J.F., Humphreys, M. (1995). Thermal Comfort and Temperature Standards in Standards for Thermal Comfort. *Indoor Air Temperature Standards for the 21st Century*, 149, pp. 149-157.

خلاصة

يعرف المناخ الحراري بعناصره الأربعة وهي درجة حرارة الهواء، الرطوبة النسبية، الإشعاع وسرعة الهواء، وتتوقف الراحة الحرارية للإنسان على مدى تقبله للتفاعل الكلي لهذه العناصر، مع ما يميزه من عناصر ذاتية تدخل ضمن آلية الحفاظ على التوازن الحراري (الجنس، السن، الطعام، النشاط، نوعية الملابس والتأقلم).

إستعرض الفصل مفهوم تقييم الراحة الحرارية وأورد لذلك تسلسلا زمنيا لتطور المؤشرات الخاصة بالتقييم وصولا إلى أهم مؤشرات لتقييم الراحة الحرارية داخل المباني وهي مؤشرات الإحساس الحراري ممثلتا في معدل توقع نسبة التصويت (PMV) ومعدل توقع نسبة عدم الرضا (PPD) ويعتمد في حسابها على نموذجين مختلفين كما يلي:

- النموذج العقلاني "ASHRAE 55/2013,ISO:7730" المعتمد على قياس العوامل البيئية وبعض الخصائص الذاتية لشاغلي الحيز.
- النموذج الذاتي "ASHRAE 55/2013, SO 10551" المعتمد على الإستبيان بإعتباره أقرب أداة لتقييم الواقع.

فأورد لذلك وصفا دقيقا لأهم مميزات كل من النموذجين وكيفية إجراء الدراسة الميدانية. ثم التطرق إلى بعض أهم الدراسات المبينة على أساس المقارنة بين النموذجين كأساس للدراسة الميدانية وذلك من أجل إستخراج درجة تأثير كل عامل من العوامل الذاتية سواء اللباس أو السن أو الجنس وكذلك تأثير المناخ العام إضافة إلى تأثير عوامل البيئة الحرارية الداخلية من درجة حرارة الهواء والرطوبة وصولا إلى تأثير سرعة الهواء وهي موضوع الدراسة.

تجدر الإشارة إلى أن الدراسات التي إهتمت بتأثير النشاط كعامل ذاتي مؤثر في الراحة الحرارية بالمناخ الحار الجاف لم تتطرق إلى حالة المساجد بإستثناء قلة من الأبحاث والتي وعلى ندرتها قامت بدراسة حالات تحت تأثير التكييف الآلي. ومن هنا يستمد البحث أهميته في كون الساحة العلمية تفتقر لدراسات دقيقة للراحة الحرارية في مساجد المناخ الحار الجاف، وكذا دراسة تأثير مختلف العوامل المؤثرة فيها، والتي من أهمها حركة الهواء، خصوصا مع غياب الدراسات من هذا النوع في مبان المساجد.

وهو ما دفعنا في الفصل الثالث إلى إستعراض مفهوم البيئة الحرارية وأهم العناصر المؤثرة في الأداء الحراري للمبني خصوصا تأثير حركة الهواء وكيفية دعم حركة الهواء وتبريده قبل إدخاله.

الفصل الثالث:

دور التهوية في تحسين الأداء

الطاقوي صيفا

الفصل الثالث: دور التهوية في تحسين الأداء الطاقوي صيفا

مقدمة

تعمل المباني كحواجز ترشيحية بين البيئة المناخية الخارجية والبيئة الداخلية التي تحتوي الأنشطة البشرية. إن كفاءة البيئة الحرارية للمبنى يمكن أن تتغير وفق الخواص التصميمية للمبنى، والفضاء الخارجي الذي حوله. وفي حالة عجز المبنى عن توفير الجو الحراري الملائم لمستخدميه يلجأ إلى إستخدام الطاقة للتسخين في الجو البارد والتبريد في الجو الحار مع ما يمثله هذا الأخير من مساهمة كبيرة في إستهلاك الطاقة في المباني. خصوصا مباني المساجد باعتبار المصلين محدودي الحركة بفعل شروط الصلاة حيث لا يمكنهم فتح النوافذ، أو تغيير مكان الجلوس بخلاف الأنشطة الأخرى كالمكاتب أو الحياة اليومية في المساكن.

1. الوسط الحراري للمبنى والعناصر المؤثرة فيه

الكفاءة الحرارية للمبنى تتعلق بمقدار الفقد الحراري شتاء والكسب الحراري صيفا وهو ما ينعكس تأثيره على درجة حرارة البيئة الداخلية، مما يؤدي إلى زيادة الحاجة لاستخدام أجهزة التكييف بأنواعها المختلفة للسيطرة على درجة الحرارة الداخلية وجعلها ضمن حدود الراحة الحرارية¹. تعد معظم القرارات التصميمية التي يتخذها المعماري لتلبية الجوانب الوظيفية، الشكلية والرمزية هي بذاتها قرارات مؤثرة في البيئة الحرارية بصورة مباشرة أو غير مباشرة، خصوصا ما تعلق منها بمظهر المبنى الخارجي، ابتداء بشكل المبنى وانتهاء بنوع مواد الإنهاء المستخدمة. يمكن إدراج أهم عناصر التصميم المؤثرة في البيئة الحرارية للمبنى كما يلي:

1.1. موقع المبنى

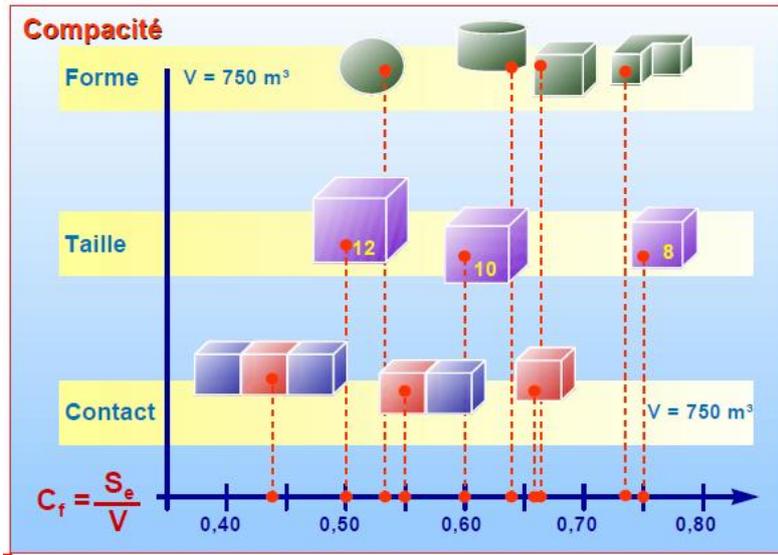
إدراج المبنى في محيطه ذو تأثير أساسي على الوسط الحراري، من خلال إمكانية الإستفادة من مؤهلات الموقع المختلفة من جهة وتفادي التأثيرات السلبية من جهة ثانية. لذلك وجب على المعماري عند دراسة المشروع أن يحلل ويدرس علاقة المبنى مع مختلف مميزات الموقع من تضاريس، محيط عمراني، نوعية الأرض، الغطاء النباتي، التشميس، وإتجاه الرياح وشدتها.

¹ Maldonado, E., Fernandese O., (1993). Building thermal regulations: why has summer been forgotten?. In *Proceeding of the 3rd European Conference on Architecture*, pp. 626.

إن مقدار تعرض أسطح المبنى للإشعاع الشمسي يعتمد على توجيه الكتلة البنائية، فيمكن باختيار التوجيه الصحيح تحسين الأداء الحراري للمبنى بتقليل تأثير الإشعاع الشمسي، صيفا وزيادته شتاء، كما أن دراسة حركة الهواء من شأنها أن تجنب المبنى الرياح الغير مرغوبة كالرياح الباردة شتاء، والاستفادة من الرياح المستحبة صيفا، لأغراض التبريد أو التخلص من الرطوبة المرتفعة.

2.1. شكل وتراص المبنى

يلجأ المعماري لدراسة البعد البيئي لتراص المبنى الى معامل الشكل و يعرف بـ "CF" وهو العلاقة بين المساحة الخارجية للأسطح والحجم الداخلي للمبنى م³/م². وهو معامل ذو أهمية كبيرة في تقييم التصميم البيومناخي باعتباره تعبير مبسط عن مقدار تعرض المبنى للظروف الخارجية. حيث أن زيادة مساحة الأسطح الخارجية تؤثر سلبا على الكفاءة الحرارية للبناء، لذلك فانه ينصح دوماً بخفض معامل الشكل قدر المستطاع من خلال التقليل من المساحات المعرضة للظروف الخارجية¹. الشكل 1.3. يقدم توضيحا لذلك.



الشكل 1.3. تأثير الشكل والحجم والمجاورة على معامل الشكل.
(المصدر: Liébard.A et Herde.A 2004)

وفي حالة مباني المساجد وبحكم البرنامج الوظيفي فغالبا ما تكون مستقلة وغير متلاصقة مع مباني أخرى وهو ما يزيد من معامل الشكل وبالتالي إنخفاض الكفاءة الحرارية.

¹ Fernandez, p. Lavigne, p. (2009). Concevoir des bâtiments bioclimatique. fondements et méthodes, pp. 83. Paris : Moniteur .

3.1. خصائص غلاف المبنى

يمثل غلاف المبنى الوسيط بين الظروف الخارجية والداخلية، فهو المحور الرئيس لعمليات التحكم في البيئة الحرارية الداخلية. فمن خلاله تحدث كل عمليات الانتقال الحراري مع المناخ الخارجي، وبجسب كمية الكسب والفقء الحراري يتم تقييم الكفاءة الحرارية للبناء. إن من أهم مكونات غلاف المبنى التي يحدث خلالها التبادل الحراري هي على التوالي: الفتحات، السقوف و الجدران، لذا فأول ما يؤخذ بعين الاعتبار عند تصميم مواد البناء المستخدمة في الغلاف المبنى هو نسبة المساحة الشفافة مقارنة بمساحة الأسطح المعرضة للظروف الخارجية، يليه تحديد معامل الانتقال الحراري لمواد بناء السقوف و الجدران، ومدى إمتصاصها وإنبعاثها للأشعة الشمسية المعرضة لها¹.

2. مصادر الكسب الحراري (Thermal gain) ومسألة الأداء الطاقوي (Energy performance) للمبنى

الأداء الطاقوي الحراري هو مفهوم يقاس بمقدار ما يستطيع البناء توفيره من أجواء ملائمة لمستخدميه دون اللجوء لإستخدام الطاقة الأحفورية² وهو ميزان يعتمد بالأساس على مقدار ما يكسبه أو يفقده من طاقة حرارية الى ما يحتاجه لتحقيق بيئة حرارية ملائمة لمستخدميه. يستخدم الباحثون في دراسة الأداء الحراري للمجال المعماري مفهوم الميزان الحراري والذي يسمح بتقدير كمية الطاقة التي يكتسبها البناء أو يفقدها، من أجل معرفة كمية الطاقة الواجب إستخدامها للتبريد أو التسخين. ويحسب الميزان الطاقوي للطقس الحار بالمعادلة التالية³:

$$Q = Q_{le} + Q_{lv} + Q_{gs} + Q_{gi} \dots \dots \dots (01)$$

حيث:

Gain par conduction de l'enveloppe (watt) : Q_{le} الكسب بواسطة التوصيل عبر الغلاف.

Gain par renouvellement d'air (watt) : Q_{lv} الكسب بواسطة تجديد الهواء.

Gains Solaire (watt) : Q_{gs} الكسب الشمسي عبر الزجاج.

Gains internes (watt) : Q_{gi} الكسب الداخلي.

¹ الوكيل، ش. ا.، سراج، م. ع. ا. (1989). المناخ وعمارة المناطق الحارة، ص97. القاهرة: دار عالم الكتب للنشر.

² Dubey, K., Krarti, M. (July 2017). *An Evaluation of High Energy Performance Residential Buildings in Bahrain*. KS-2017-DP16. Riyadh: King Abdullah Petroleum Studies and Research Center.

³ ASHRAE Handbook/Fundamentals,(2009). (chapitr) 16.11.

يعرف الريح الطاقوي للبيئة الحرارية بأنه معدل الإنتقال الحراري إلى داخل الحيز المعماري خلال فترة زمنية معينة، وتقسّم مصادر الكسب الحراري في المبنى إلى مصادر واردة من خارج المبنى، وتسمى المصادر الخارجية، وتلك الناتجة من داخله وتسمى المصادر الداخلية¹.

1.2. الكسب الطاقوي الخارجي

- ربح حراري بواسطة الإشعاع الشمسي عبر الزجاج والأسطح المعرضة للخارج.
- إنتقال حراري خلال غلاف المبنى نتيجة الفارق الحراري بين الداخل والخارج.
- إنتقال حراري بين المبنى والمباني المجاورة عند وجود فارق حراري بين الجانبين.
- إنتقال حراري نتيجة دخول وخروج الهواء سواء بالتهوية المتحكم بها أو عن طريق الشقوق والفجوات.

1.1.2. الكسب الطاقوي خلال الزجاج

ينقسم الكسب الحراري بواسطة الزجاج إلى جزء عبر الإشعاع وجزء من خلال حرارة التوصيل نتيجة الفرق بين درجة حرارة الهواء الخارجي والداخلي.

يصنف الزجاج المستخدم في البناء بحسب الشفافية إلى ثلاثة أنواع أساسية وهي: الزجاج الشفاف، الزجاج العاكس، والزجاج الملون، والزجاج الممتص للضوء والحرارة².

تختلف الخصائص الحرارية لأنواع الزجاج الثلاثة وفق ما يظهره الجدول 1.3. الذي يقدم القيم النسبية للكسب الحراري من نسبة الإشعاع الشمسي الساقط على سطحه، وقد تم التمييز هنا بين الكسب الحراري المباشر بواسطة دخول الأشعة عبر الزجاج، والريح الحراري بواسطة الإمتصاص².

الجدول 1.3. الريح الحراري لمختلف أنواع الزجاج (المصدر: Givoni.B1989)

نوع الزجاج	الانتقال المباشر %	الانتقال بالامتصاص %	الانتقال الكلي %
زجاج شفاف	74	9	83
الزجاج الملون	30	30	60
زجاج ممتص للضوء والحرارة	20	25	45

¹ ASHRAE Handbook/Fundamentals,(2009). « OP.cit ».

² Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*, pp. 251. Canada: John Wiley & Sons, Inc.

معظم المساجد تستخدم في نوافذها الزجاج الملون، من أجل تجنب الإنبهار البصري (visual glare) ومن خلال قراءة الجدول السابق نجد أن هذا النوع من الزجاج يتميز بريح حراري أقل من الشفاف وهو ما يساعد في التقليل من الريح الحراري المباشر عبر الزجاج.

2.1.2. الكسب الطاقوي عبر الأسطح

هو مجموع الحرارة المنتقلة بصورة غير منتظمة كنتيجة للتباين في كمية الإشعاع الساقط على السطح الخارجي، وبصورة منتظمة من الخارج إلى الداخل نتيجة لفرق درجات الحرارة على الجانبين. إن ظاهرة الانتقال الغير المستقر خلال الأسطح تعتبر عملية معقدة نسبة للسعة الحرارية للمبنى حيث يتم تخزين الطاقة الحرارية المارة عبر الجدار ثم تصريفها إلى الداخل أو الخارج في وقت لاحق وهذا يعتمد على قيمتي زمن التخلف، ومعامل التناقص¹. وتقدر الحرارة المكتسبة عبر الأسطح للسقف والجدران نتيجة فرق درجات الحرارة بين الداخل والخارج بالمعادلة التالية:²

$$Q = \sum U_w A_w (T_o - T_i) + U_c A_c (T_o - T_i) \dots \dots \dots (02)$$

حيث:

Q : La chaleur transmise à travers les Surfaces (watt) الحرارة المنتقلة خلال أسطح الأبنية.

U_w : Coefficient de température global du mur (w/m².k) معامل الحرارة الإجمالي للجدار.

T_o : Température air extérieur (°C) درجة حرارة الهواء الخارجية.

T_i : La température interne de l'air (oC) درجة حرارة الهواء الداخلية.

U_c : Coefficient de température globale de la toiture (w/m².k) معامل الحرارة الإجمالي للسقف.

A_c : Surface du toit (m²) المساحة السطحية للسقف.

وتحتسب قيم U من المعادلة التالية:

$$1/U = 1/h_o + 1/h_i + \sum x/k \dots \dots \dots (2-1)$$

حيث:

h_o : Coefficient de transfert de chaleur par convection de la surface externe (w/m².k) معامل إنتقال الحرارة بالحمل للأسطح الخارجية.

معامل إنتقال الحرارة بالحمل للأسطح الخارجية.

h_i : Coefficient de transfert de chaleur par convection des surfaces internes (w/m².k) معامل إنتقال الحرارة بالحمل للأسطح الداخلية.

¹ CENTRE D'INFORMATION SUR LE CIMENT ET SES APPLICATIONS. (2007). Béton & confort thermique. Collection Technique CIMBETON, B40.

² موسى، ف. (2005). نوافذ تعليمية لحساب حمل التبريد للأبنية. مجلة تكريت للعلوم الهندسية، المجلد 12 / العدد 3 / آب.

معامل إنتقال الحرارة بالحمل للأسطح الداخلية.

Épaisseur de couche de la paroi (m) : x / سمك طبقة الجدار.

Coefficient de conductivité thermique des matériaux de construction (w/m.k) : k

معامل التوصيل الحراري لمواد البناء.

تعتمد الحرارة المكتسبة عبر الأسطح على عدد الطبقات المكونة لغللاف البناء، كما أن معامل إنتقال الحرارة بالحمل للأسطح الداخلية والأسطح الخارجية يعتمد على سرعة واتجاه حركة الهواء، أما معامل التوصيل الحراري فقيمه تعتمد على نوعية المواد المستخدمة في البناء وهناك جداول لقيم المواد التي لها معامل توصيل حراري صغير تعرف بالعوازل وتستخدم في تقليل التبادل الحراري بالتوصيل عبر السقف والجدران.

3.1.2. الكسب الطاقوي بواسطة التهوية

يتسرب الهواء الخارجي إلى الحيز المعماري من خلال فتحات النوافذ والأبواب، وهذا ما يعرف بهواء التسرب وتعتمد كميته على مواقع وأبعاد الفتحات، بالإضافة إلى سرعة الرياح حيث يزيد معدل هواء التهوية مع زيادة سرعة الرياح¹. في الفترة الحارة يشكل تسرب الهواء من الخارج إلى الداخل رجحا حراريا مهما، ويتم إحتساب

الرياح الحراري المحسوس والكامن لتسرب الهواء من المعادلات التالية:²

$$q = q_s + q_l \dots \dots \dots (03)$$

$$q_s = 1230 Q (\Delta t) \dots \dots \dots (03-1)$$

$$q_l = Q p \Delta w (2501 + 1.805 t) \dots \dots \dots (03-2)$$

حيث:

La chaleur totale aux fuites d'air : q الكسب الحراري الكلي لتسرب الهواء.

Chaleur sensible aux fuites d'air (watt) : q_s الكسب المحسوس لتسرب الهواء.

Chaleur latente de fuites d'air (watt) : q_l الكسب الكامن لتسرب الهواء.

La différence entre la température à l'intérieur et à l'extérieur (c°) : Δt

الفارق في درجة الحرارة بين الداخل و الخارج.

¹ Kleiven, T. (2003). Natural Ventilation in Buildings Architectural: Concepts, consequences and possibilities.

Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor Engineer, URN: NBN: no- 7242, pp. 31.

² ASHRAE Handbook/Fundamentals. (2009). Ventilation and infiltration, Chapters 16.11.

flux d'air (m³/s) : Q تدفق الهواء.

différence d'humidité entre l'intérieur et l'extérieur (kg/kg) : Δw

الفارق بين الرطوبة الداخلية والخارجية.

densité de l'air (Kg/m³) : P كثافة الهواء.

La température moyenne entre l'intérieur et l'extérieur (c°) : T

متوسط الحرارة بين الداخل والخارج.

2.2.2. مصادر الكسب الطاقوي الداخلي

- كسب حراري نتيجة عمل أجهزة ومعدات داخل الحيز مثل المصابيح.

- كسب حراري محسوس وكامن من شاغلي الحيز.

1.2.2. الكسب الطاقوي للإضاءة

يحتسب الكسب الحراري للإضاءة وفق المعادلة التالية¹:

$$Q_{el} = N \times W \text{ Ful } F_{sa} \dots \dots \dots (04)$$

N : عدد المصابيح.

Capacité de lampe (watt) : P قدرة المصباح الواحد.

Ful : معامل التباين للإضاءة.

Fsa : معامل نوع المصباح.

2.2.2. الكسب الطاقوي للأشخاص

نتيجة إختلاف درجة حرارة جسم الانسان عن محيطه، يعطي جسمه حرارة محسوسة كما يعطي حرارة كامنة نتيجة تبخر بخار الماء من سطح جسمه المعرض للهواء، وعملية الزفير أثناء التنفس، وتتسرب الحرارة التي تتولد من جسم الإنسان إلى البيئة الحرارية بشكل حرارة محسوسة بواسطة الإشعاع و تيارات الحمل، و تتبخر الرطوبة التي يفرزها جسم الإنسان بشكل حرارة كامنة². ويتم تقدير الحرارة المحسوسة والكامنة لشاغلي الحيز المعماري بالمعادلات التالية³:

$$Q_{ps} = n \cdot q_{ps}(D.F)p \dots \dots \dots (05)$$

¹ ASHRAE Handbook/Fundamentals. (2009). « OP.cit ».

² ANSI/ASHRAE Standard 55-(2010), « Thermal Environmental condition for Human Occupancy ».p17.

³ موسى، ف. (2005). المرجع السابق.

حيث:

La chaleur sensible pour les personnes (watt) : Qps الكسب الحراري المحسوس للأشخاص.

nombre de personnes : n عدد شاغلي الحيز.

La chaleur sensible par personne (watt) : qps الكسب المحسوس للشخص الواحد.

Le coefficient de variation pour les personnes : (D.F)p معامل التباين للأشخاص.

وأما الحرارة الكامنة التي يعطيها شاغلي الحيز فتحسب بالمعادلة التالية:¹

$$QpL=n.qpL(D.F)p.....(06)$$

حيث:

QpL (watt) : الكسب الكامن للأشخاص .

qpL (watt) : الكسب الكامن للشخص الواحد .

الجدول 2.3. يحدد مقدار الناتج الطاقوي المحسوس (sensible) والكامن (Latente) إنطلاقاً من دراسات

تتعلق بنوعية النشاط المبدول بحيث يمكن إستخدام هذه القيم في تقدير الريح الحراري الداخلي الإجمالي الناتج

عن شاغلي الحيز.

يعد معدل التفاعل الحيوي في الجسم مؤشراً لمستوى النشاط. وبالنسبة للصلاة في المساجد يمكن أن

تصنف في خانة الجلوس مع عمل خفيف (التفاصيل في الفصل الخامس).

¹ موسى، ف. (2005). المرجع السابق.

الجدول 2.3. مقدار الكسب الحراري الكامن والمحسوس للأشخاص.

(المصدر: www.EngineeringToolBox.com/met-metabolic-rate)

	متوسط الطاقة للإنسان البالغ (وات)	درجة حرارة الوسط °م									
		28		27		26		24		22	
		محسوس	كامن	محسوس	كامن	محسوس	كامن	محسوس	كامن	محسوس	كامن
جلوس وراحة	100	50	50	55	45	60	40	67	33	72	28
جلوس وعمل خفيف	120	50	70	55	65	60	60	70	50	78	42
عمل مكتبي	130	50	80	56	74	60	70	70	60	78	52
وقوف ومشى ببطيء	130	50	80	56	74	60	70	70	60	78	52
مشى وجلوس	150	53	97	58	92	64	86	76	74	84	66
عمل متوسط	160	55	105	60	100	68	92	80	80	90	70
عمل يدوي	220	55	165	52	158	70	150	85	135	100	120
حركة سريعة	250	62	188	70	180	78	172	94	156	110	140
المشي السريع	300	80	220	88	212	96	204	110	190	130	170
أعمال شاقة	430	132	298	138	292	144	286	154	276	170	262

3. إستهلاك الطاقة لتصحيح الأداء الحراري

40 % من الطاقة المستهلكة عالميا يتم إستهلاكها من قبل المباني، ما أدى إلى تركيز إهتمام العديد من الأبحاث المختصة بالحفاظ على البيئة في إيجاد سبل لخفض الإستهلاك¹، من خلال العزل الحراري وتقنيات التزجيج (The Glazing) وإستخدام الطاقات المتجددة، وهي في مجملها إجراءات تقنية تضاف

¹ International Energy Agency. (2010). *World energy outlook*. Paris.

لأبحاث التصميم. و تهدف إلى خفض الإعتماد على إستخدام الطاقة الأحفورية (الطاقات الغير متجددة) المستخدمة في تصحيح الخلل في أداء البيئة الحرارية^{1,2}.

إضافة إلى هذه الإجراءات المتمحورة حول الحلول التقنية، تبقى ضرورة إدراج إحتياجات المستخدمين وتأقلمهم من أجل كفاءة أكبر في إستهلاك الطاقة مع توفير جو مريح للمستخدمين^{2,3}.

1.3. مفهوم الطاقة

منذ إكتشاف الإنسان للطاقة وهو يسعى من خلال إستخدامها للسيطرة على الطبيعة و التي من بين أهم تجلياتها توفير المناخ الحراري الذي يلائمه. وهي بلفظها اللاتيني (Enorgia) ذات الأصل اليوناني (Enorgeia) وتعني قوى فيزيائية تسمح ب: الحركة. أما لفظها العربي "طاقة" فهو مشتق من الإطاقة وهي القدرة على القيام بالشيء⁴.

وتعرف إصطلاحا بأنها ما يحرك ما نستعمله من آلات، لغرض توفير الراحة اللازمة لنا مثل أداء عمل نيابة عنا أو توفير جو حراري مناسب (تدفئة، إنارة تبريد...)⁵.

كما تعرف الطاقة كذلك بأنها مفهوم علمي لتنظيم عمليات تستهدف ظروف الطبيعة، ولانستطيع قياسها مباشرة، وتدرس من خلال تأثيرها على المواد وتأثيراتها على الظواهر⁶.

2.3. مصادر الطاقة

الطاقة هي أحد المقومات الأساسية للحضارة الإنسانية فهي أساس تسيير مختلف الإحتياجات اليومية. تعتبر الطاقة بأنها محدودة في الكون فهي لا تنتهي ولا تستحدث. ولكنها تتحول من شكل لآخر والطاقة بهذا المفهوم تعبر عن المبدأ الأول في ديناميكا الحرارة الذي ينص على أن كميتها ثابتة دوما. و تصنيفها يعتمد على مصدرها فإن كان الشكل الأول طاقة مخزنة في الطبيعة (فحم، بترول، غاز طبيعي، طاقة

¹ Diakaki, C., Grigoroudis, E., Kabelis, N., Kolokotsa, D., Kalaitzakis, K., Stavrakakis, G. (2010). A multi-objective decision model for the improvement of energy efficiency in buildings. *Energy*, 35(12), 5483-5496.

² Gucyeter, B. (2018). Evaluating diverse patterns of occupant behavior regarding control-based activities in energy performance simulation. *Frontiers of Architectural Research*, 7, 167-179.

³ Masoso, O. T., Grobler, L. J. (2010). The dark side of occupants' behavior on building energy use. *Energy and Buidling*. 42(2), 173-177.⁴ 2(2) : 173-177.

⁴ أبادي، ا. (1998). القاموس المحيط (ص906). بيروت: مؤسسة الرسالة.

⁵ Khartchenko, V. N. ترجمة بسام حمود. (2000). طاقة وسلامة البيئة. دمشق: المركز العربي للتدريب والترجمة والتأليف.

⁶ Kankana Dubey and Moncef Krarti. (2017). « OP.cit».

نووية...)، تسمى طاقة غير متجددة وهي في أغلبها أحفورية. وإن كانت مستمدة من ظواهر الطبيعة كالرياح وحركة المياه والإشعاع الشمسي وطاقة الكتلة الحيوية فتسمى هنا بالطاقة المتجددة لأنها لا تنفذ من حيث المصدر. وتعتبر الطاقة المتجددة ذات كلفة مرتفعة مقارنة بالطاقة التقليدية في برمجتها وصيانتها خصوصا ما تعلق بالتخزين. لذا فإن الإقتصاد في استخدام الطاقة بغض النظر عن مصدرها مطلب أساسي، لأجل توفير الأمن الطاقوي لأية دولة وأحد أسس دعم التنافسية إضافة للحفاظ على البيئة¹.

3.3. إستهلاك الطاقة الكهربائية للتبريد

هناك نظرة تشاؤمية بشأن توقع الإرتفاع الدراماتيكي في الإستهلاك الطاقوي خلال السنوات القريبة وخصوصا بين سنتي 2030 و2040² وهو ما سيتسبب في إرتفاع التكاليف الإقتصادية والآثار البيئية المدمرة. الطاقة الكهربائية هي القوة الكهربائية الناتجة عن مرور التيار الكهربائي نتيجة للإنتقال المتواصل للإلكترونات المتحررة بين ذرات المعدن (عادة يستخدم النحاس). ولإستمرار هذا الإنتقال لا بد من مصدر: الطاقة الأولية (من مصادر متجددة كالإشعاع الشمسي وقوة الرياح)، أو الطاقة الثانوية من المراكز الحرارية والمكثفات والمصانع الهيدروليكية) نتيجة تحويل الطاقة الأحفورية.

إن مبدأ العمل الذي يعتمد عليه المكيف هو ببساطة تحويل سائل إلى غاز عن طريق إمتصاص الحرارة من الهواء فتتخفف درجة حرارته، حيث إن عملية التحول من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية تحتاج إلى حرارة وإذا استمرت عملية التحول من سائل إلى غاز استمرت عملية التبريد. في المناطق الحارة يعتبر التكييف المستهلك الأساسي للطاقة في المباني ذات الاستخدام البشري حيث أجريت العديد من الإحصاءات مثل الإحصاء الرسمي في المملكة العربية السعودية³ والذي خلص إلى أن المملكة تحوي 30 مليون جهاز تكييف يستهلك 65% من كهرباء المباني في السعودية وتزيد نسبة الإستهلاك الكهربائي للمباني سنويا بنسبة 5%.

ويعرف مجال إستهلاك الطاقة الكهربائية في السنوات الأخيرة (منذ 2011 إلى 2015) بمناطق الجنوب الجزائري زيادة في استهلاك الفرد بمقدار 76.5% مقارنة بزيادة إستهلاك الفرد في الشمال 40%. ويعود هذا الإرتفاع إلى تغير سلوك الفرد باتجاه الإسراف خصوصا ما تعلق بالتكييف⁴.

¹ Kankana Dubey and Moncef Krarti. 2017. OP "cit".

² International Energy Agency. (2017). *World energy outlook*. Paris.

³ جريدة الحياة. (2018)، فيفري (26). 30 مليون جهاز تكييف تستهلك 65% من كهرباء المباني في السعودية. الرياض.

⁴ تقرير مديرية سونلغاز بالوادي من اليوم الدراسي الموجه لأئمة المساجد حول ترشيد استهلاك الكهرباء. (2018، جوان 02).

أنظمة التبريد هي المستهلك الأول للطاقة في المساجد باعتبار أن معظم العالم الإسلامي يقع ضمن نطاق المناخ الحار¹.

تعتبر مباني المساجد المستهلك الأكبر للطاقة الكهربائية في الجنوب الجزائري ذو المناخ الحار الجاف² هذا المناخ الذي تتجاوز نسبته 80% من مساحة الجزائر، وهو ما يؤكد ضرورة تغيير أنماط الاستهلاك على مستوى هذه المباني التي يتجاوز عددها خمسة عشر ألف مسجد موزعة على كامل تراب البلد². وهو ما دعى شركة توزيع الكهرباء الجزائرية إلى إجراء العديد من الندوات التحسيسية للقائمين على المساجد بغية محاولة خفض إستهلاك الكهرباء في التبريد من أجل خفض الأعباء الاقتصادية وتقليل الضغط على شبكة التوزيع وذلك في عدة ولايات من الشمال الى الجنوب في بداية صيف 2018.

4.3. الأثر الصحي المباشر لإستخدام المكيفات بدون دراسة حرارية

أكد الأخصائيون³ أن المبالغة في التبريد بإستخدام المكيفات، يمكن أن يؤدي إلى زيادة احتمال الإصابة بأمراض القلب والأوعية الدموية ورفع خطر الإصابة بنزلات البرد المرتبطة بالإنخفاض المفاجئ في درجة الحرارة بشكل كبير.

وأوضحت الأخصائية في علم الأحياء وعضو أكاديمية العلوم الروسية، "فيتالا فورونتسوف"، أن "الأوعية الدموية تتوسع لدى إرتفاع الحرارة، وبدخول الشخص إلى أماكن أبرد يفارق كبير، يؤدي ذلك إلى إنقباض هذه الأوعية"، وهي تدعو بذلك إلى "عدم تبريد الهواء في الأماكن المغلقة بشكل كبير والإبقاء عليه في درجات قريبة من الحرارة الخارجية قدر الإمكان⁴.

بدوره، قال عالم الأحياء في أكاديمية العلوم الروسية، "فيكتور نالييف"، أن "خطر إستخدام المكيفات على الصحة يتضاعف لدى مرضى القلب والأوعية الدموية، أو الذين يعانون من السمنة وداء السكري¹.

<https://www.djazairss.com/elbilad/284438>

¹ Al-ajmi, F. F. Loveday D. L. (2010). Indoor thermal conditions and thermal comfort in air-conditioned domestic buildings in the dry-desert climate of Kuwait. *Building and Environment*, 45, 704-710.

² سوكو، ن. (2014، ديسمبر 15). المساجد الجزائرية على الهامش. جريدة الخبر الجزائرية.

³ E-sante.fr. (August 19, 2016). Quels sont les vrais risques de la climatisation. *Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie*. Retrieved November 24, 2018, from <http://www.e-sante.fr/quels-sont-vrais-risques-climatisation/actualite/983?page=0%2C1>.

⁴ Dr Cardenas, J. (June 21, 2017). *Climatisation et santé : les précautions d'usage*. Retrieved December 24, 2018, from <http://www.doctissimo.fr/html/dossiers/travail/articles/13735-risques-climatisation.htm?fbclid=IwAR1zvyr7QTXzMG77aB7ZOX4sM8YHn0ewZkoEKLd-8zg8Sv1h14A0aoOWgFI>

كما تسبب الفوارق الحرارية الكبيرة تضرر المفاصل خصوصا الرقبة والظهر وذلك لغياب الطبقة الدهنية السميكة التي تحمي العضلة، حيث أن الاختلاف المفاجئ في درجات الحرارة يقلص الألياف العضلية ما يؤدي إلى إختلاف طول العضلة فتصبح مشدودة وهو ما يسبب الآلام¹. وقد أجريت العديد من الدراسات المهمة بالفارق الحراري بين الخارج والداخل وإتضح أن الخطورة تبدأ عند تجاوز الفارق 10°م².

5.3. التكاليف البيئية لإستهلاك الطاقة الأحفورية (Fossil energy)

عرف مؤتمر ستوكهولم (1972) البيئة بأنها "المجموعة النظم الطبيعية، الاجتماعية والثقافية التي يعيش بها البشر مع بقية الكائنات ويستمدون منها الطاقة ويمارسون فيها أنشطتهم"³. إن إستهلاك الطاقة الأحفورية (النفط، الفحم والغاز الطبيعي...) بشكل كبير أطلق ملوثات مختلفة بكميات تفوق قدرة النظام الطبيعي على إستيعابها ما أدى إلى زيادة تركيز هذه الملوثات فاختل التوازن الطبيعي، وكنتيجة لذلك تغير المناخ فارتفعت درجة حرارة الأرض ونسبة الرطوبة في الجو، إضافة إلى التسبب في العديد من الكوارث كالأعاصير¹. فتلوث البيئة هو إختلال التوازن البيئي كنتيجة لإضافة مواد غريبة إلى الهواء أو الماء أو الغلاف الجوي وهو ما يؤدي إلى تغير حالتها الفيزيائية والبيولوجية والكيميائية، ما يفقد الأنظمة البيئية قدرتها على تجديد مواردها وتخلصها الذاتي من الملوثات، الأمر الذي يؤثر على صحة وحيوة الإنسان وبقية الكائنات.

أكدت الإحصاءات المتعلقة بالطاقة أن الإستهلاك العالمي للطاقة في الفترة 1865-2008 زاد بنسبة سنوية مقدارها 4.5% وقد وصلت نسبة إستخدام الطاقة الأحفورية منها 80% إلى 90%⁴. إستهلاك الطاقة زاد بنسبة 2.2% بين سنتي 2016-2017 وهي زيادة تتجاوز متوسط الزيادة السنوية 1.7% بين 2013-2016.

¹ Roger, S., Carré, M. (2006). Améliorer le confort d'été dans les établissements pour personnes âgées et handicapées. *Guide pratique Pour les gestionnaires d'établissements sociaux et médico-sociaux*, Retrieved February 05, 2019, from site https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/62539_guide-confort-dete.pdf.

² E-sante.fr. (August 19, 2016). « OP.cit ».

³ United nations. (June 5-16, 1972). *Report of the United Nations Conference on the Human Environment*. Stockholm .

⁴ British Petroleum. (June 2018). *BP Statistical Review of World Energy*.

وهذا يعني أن نسبة الكربون التي إمتصتها النباتات من الغلاف الجوي خلال مئات الملايين من السنين بواسطة الإستقلاب الضوئي، قد أخذ الانسان يعيد نشره في الغلاف الجوي عن طريق حرق الطاقة الأحفورية (الفحم، البترول، الغاز الطبيعي...).

وأكدت نفس الدراسات أن نصف الكمية تنشر في الغلاف الجوي وجزء يتم ذوبانه في المسطحات المائية و جزء تمتصه النباتات خصوصا الغابات الإستوائية.

إن تراكم غاز ثاني أكسيد الكربون وهو من أكثر الغازات المسببة لظاهرة الإحتباس الحراري في الغلاف الجوي القريب من الأرض ذو تأثير أساسي على إرتفاع حرارتها حيث يمتص الأمواج الحرارية الصادرة من سطح الأرض. وتُظهر القراءات الأخيرة زيادة بنسبة 30% في تركيز ثاني أكسيد الكربون بالغلاف الجوي منذ بدء تسجيل القراءات عام 1958¹.

كما تجدر الإشارة إلى أن الغازات المستخدمة في المكيفات مضرّة جدا بالغلاف الجوي وتنتقل اليه بعد تلف الأجهزة، والذي يكون عادة بسبب برمجتها على التوقف في حرارة منخفضة جدا، فتعمل الأجهزة دون توقف.

مواد التبريد القديمة، مثل "CFC" (كلورو-فلورو-كربون) التي تتسبب في ضرر خطير لطبقة الأوزون، أُوقِف العمل بمعظمها. واستبدلت بغازات تسمى "HCFC" إلا أنها في معظمها اما سامة أو قابلة للإشتعال².

4. التهوية الطبيعية لتحسين الأداء الطاقوي

تكمن أهمية التهوية الطبيعية بالمناخ الحار في تخفيف الإجهاد الحراري على الإنسان كما تساعد على التخلص من ثاني أكسيد الكربون، الروائح والشوائب الضارة بالصحة، وتعتبر التهوية الطبيعية ضرورية من أجل خفض درجة حرارة السقوف والأرضيات وفق ظاهرة الإنتقال الحراري بواسطة تيارات الحمل³.

1.4. العوامل المؤثرة في حركة الهواء

حركة الهواء داخل البناء ناتجة عن وجود فرق في الضغط. هذا الفارق هو نتيجة لإحدى الظاهرتين :

¹ السامرائي، ق. ع. ا. (2008). مبادئ الطقس والمناخ، ص394. عمان: دار الهدى.

² مركز العمل التنموي / معا. (سبتمبر، 2012). أثر غازات أجهزة التكييف في التسخين العالمي أكبر بألاف المرات من تأثير ثاني أكسيد الكربون. مجلة الكترونية شهرية تصدر عن مركز العمل التنموي / معا، 47. من:

<http://www.maan-ctr.org/magazine/Archive/Issue47/topic13.php>

³ عبد الرحيم، س. (1999). العناصر المناخية والتصميم المعماري، ص39. الرياض: جامعة الملك سعود دار النشر العلمي والمطابع.

1.1.4 تأثير قوة الرياح

هبوب الرياح باتجاه المبنى، ينشئ مناطق للضغط المرتفع ومناطق الضغط المنخفض على مستوى الواجهات و داخل المبنى.

يتسبب وجود البناء في مواجهة الرياح إلى زيادة الضغط في الجانب المواجه للريح وإنخفاضه على الجانب الآخر ولتتعادل هذا الضغط يدخل الهواء الخارجي، من أي فتحات متاحة في الواجهة المقابلة، ليخرج من الفتحات في الجهة الغير مواجه للريح¹. لذلك يتوجب على المعماري من أجل ضمان تهوية طبيعية أحسن أن يدرس حركة الرياح المحلية.

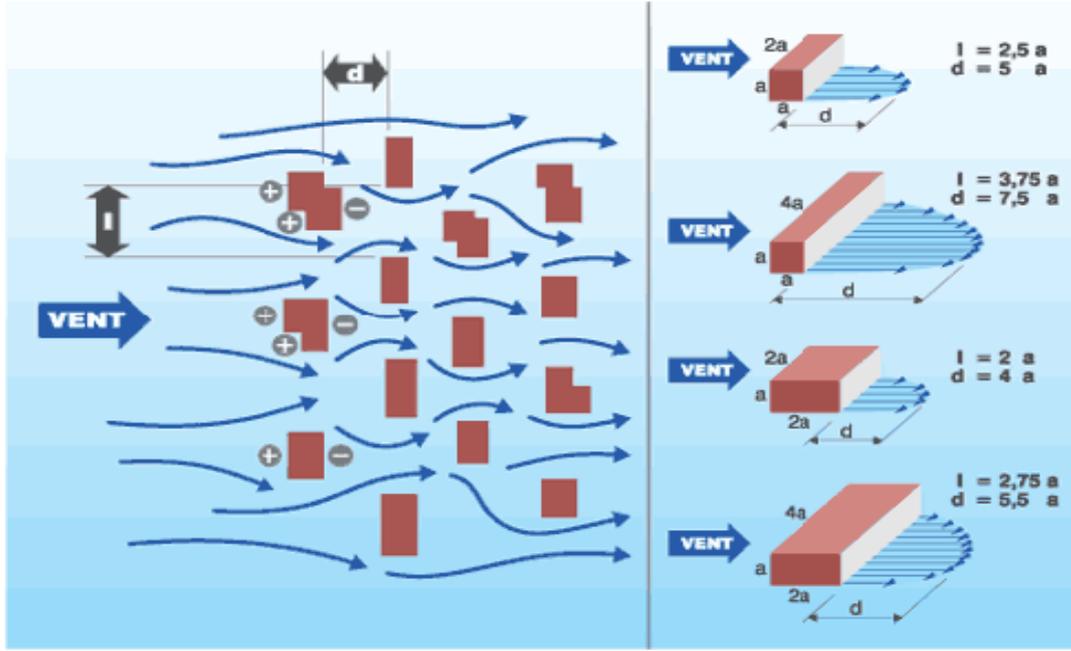
يظهر الشكل 2.3. تأثير علاقة كتل المباني مع بعضها على حركة الهواء حولها وبينها، فمثلا بالنسبة للمباني الموضوعة بطريقة منتظمة تكون مناطق السكون خلف المباني معرضة للإلتحام وبالتالي منع حركة الهواء بالنسبة لصفوف المباني الخلفية في حالة المسافة المتروكة غير الكافية. ويؤثر موضع المبنى وشكله وكتلته بالنسبة لإتجاه الرياح في شكل إنسياب الهواء من حوله.

وتحقق المباني المرصوفة بطريقة تبادلية إنتظاما أكبر في حركة الهواء وتقلل من مناطق السكون، أما المباني المرصوفة بطريقة مائلة فهي تحقق نفس النتائج الإيجابية².

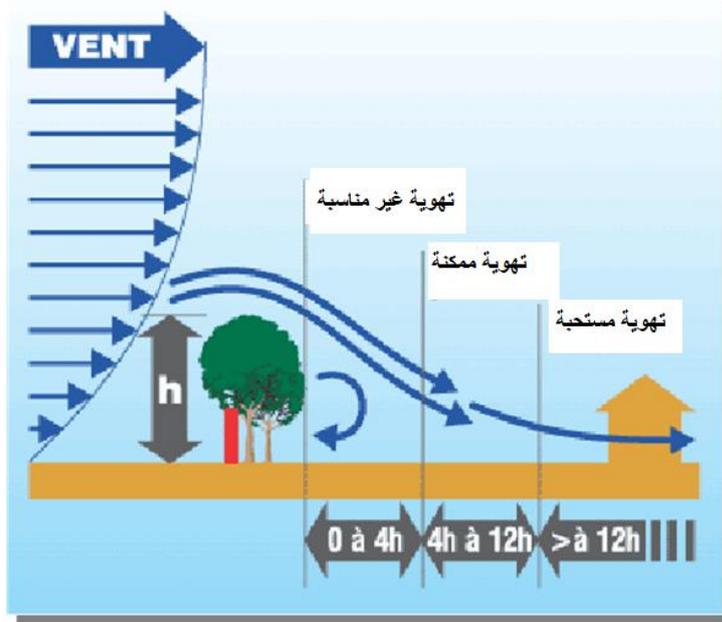
كما يمكن التحكم في إتجاه وسرعة حركة الهواء من خلال الدراسة المناسبة لوضع الأشجار والنباتات بالقرب من المباني. وهو ما يظهره الشكل 3.3.

¹ Faghih, A. K., Bahadori, M. N. (2009). Experimental investigation of airflow over domed roofs. *Iranian Journal of Science & Technology*, 33, 207-216.

² Liébard, A., De Herde, A. (2004). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique*, p315. Paris : Ed le Moniteur .



الشكل 2.3. المسافات الواجب إحترامها للسماح بالتهوية الطبيعية لمجموعة بنايات خاضعة للرياح. (المصدر: Liébard.A et Herde.A.2004)



الشكل 3.3. إمكانية التهوية الطبيعية لمبنى وفقا لموضعه من حاجز. (المصدر: Liébard.A et Herde.A.2004)

2.1.4. تأثير السحب الحراري (Thermal stack effect)

الفارق في درجة الحرارة بين الهواء الخارجي والداخلي يؤدي إلى التباين في كثافة الهواء وبالتالي إلى الاختلاف في الضغط الجوي.

ومن أجل الإستفادة من هذه الخاصية الفيزيائية للهواء لابد من دراسة الموضع العمودي للفتحات فإن كانت حرارة الهواء الداخلي أعلى من حرارة الهواء الخارجي تكون كثافة الهواء الداخلي أقل من كثافة الهواء الخارجي¹. ويكون تدرج الضغط الرأسي للهواء الداخلي أقل من تدرج الضغط الرأسي للهواء الخارجي، ما يعني أن وجود نافذة واحدة غير كاف لحركة الهواء بشكل مناسب، نظرا لنشأة ضغط عال في الفراغ الداخلي الذي يقع فوق مستوى النافذة، بينما ينشأ ضغط هوائي منخفض في الفراغ الذي يقع تحت مستوى النافذة.

أما في حالة وجود نافذتين على إرتفاعين مختلفين، فإن الضغط الهوائي المرتفع ينشأ في المناطق العليا عند النافذة العلوية، و يؤدي ذلك إلى خروج الهواء الساخن عبرها وبالتالي يتكون ضغط هوائي منخفض في المناطق السفلية أي بالقرب من النافذة السفلية الأمر الذي يسمح بدخول الهواء الخارجي الأقل حرارة عبر النافذة السفلى. وتأخذ حركة الهواء مسارا معاكسا عندما تكون درجة حرارة الهواء الداخلي أقل من درجة حرارة الهواء الخارجي².

يمكن حساب الفارق في الضغط بين الهواء الخارجي والهواء الداخلي بالمعادلة التالية³:

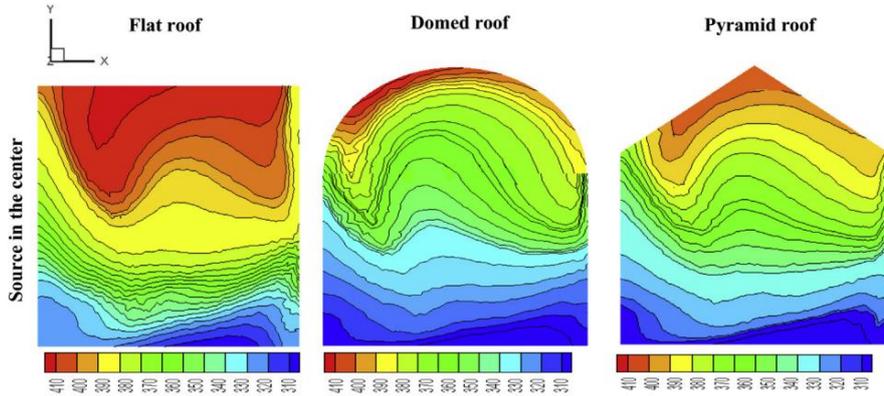
$$\Delta p = h \times \Delta t / 8.5 \times K \text{ (cmH}_2\text{o)} \dots \dots \dots (07)$$

Δp = فارق الضغط بين الهواء الخارجي والداخلي (مليبار).

h = المسافة العمودية بين النافذتين (م).

Δt = الفرق في درجة حرارة الهواء بين الداخل والخارج (م°).

K = متوسط درجة الحرارة المطلقة (درجة كلفن) حيث (درجة كلفن = درجة مئوية + 273).



الشكل 4.3. التدرج الحراري لثلاثة أنواع من السقف لغرفة ذات مصدر حراري في المركز. في دراسة الباحث "اونس تليلي" (المصدر: Ons Tlili, 2015)

¹ Kleiven, T. (2003). « OP.cit », pp. 31.

² عبد الرحيم، س. (1999). العناصر المناخية والتصميم المعماري، المرجع السابق، ص42.

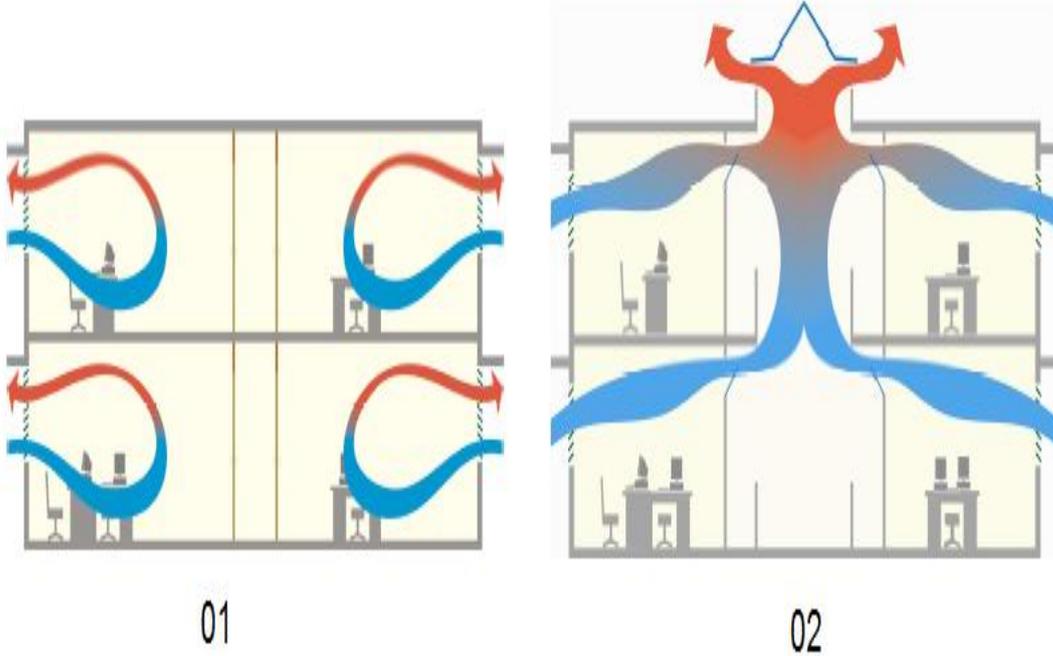
³ Givoni, B. (1978). *L'homme l'architecture et le climat*. Paris : Moniteur.

2.4. إستخدام التهوية في التبريد

يعتبر التخلص من الإجهاد الحراري صيفا من أهم إستخدامات التهوية الطبيعية داخل المبنى. وللتحكم في ذلك لابد من فهم خصائص وآلية حركة الهواء داخل المبنى للوصول إلى بناء مريح دون إستنزاف للطاقة.

1.2.4. التهوية الليلية

في المناطق الحارة الجافة يفضل إستخدام الهياكل الثقيلة للمباني، حيث يستفاد من الإختلافات الكبيرة في درجات الحرارة اليومية لتبريد هيكل المبنى¹. فعند فتح نوافذ البناء يدخل الهواء البارد الخارجي ليلاً من الفتحات السفلى بينما يخرج الهواء الداخلي ذو درجة الحرارة الأعلى من الفتحات العلوية، كما يوضح الشكل 5.3.



الشكل 5.3. التهوية الليلية: (01) تهوية من واجهة واحدة، (02) تهوية رأسية.
(المصدر: Liébard.A et Herde.A.2004)

يمكن حساب معدل إنسياب الهواء عبر النافذة بواسطة المعادلة التالية:²

$$V=7 \times A(h \times \Delta t)^{0.5} \dots \dots \dots (08)$$

=V معدل دخول الهواء (م/د).

=A المساحة الفعلية للنافذة (م²).

¹ Instituts Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement. (2007). *Guide pratique pour la construction et la Rénovation durable de petits bâtiments*. Bruxelles.

² عبد الرحيم، س. (1999). العناصر المناخية والتصميم المعماري، المرجع السابق، ص 178.

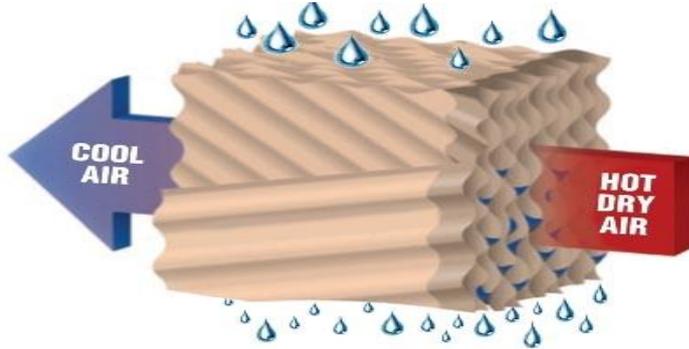
$h =$ البعد بين الفتحتين (م).

$\Delta t =$ الفارق بين حرارة الهواء الداخلي والخارجي ($^{\circ}\text{C}$).

تبادل الهواء الداخلي الساخن مع الهواء الخارجي البارد هو مصدر واضح للتبريد صيفا، ومع ذلك، فإن حرارة الهواء الخارجي يمكن أن تكون قريبة أو أعلى بقليل من درجة الحرارة في الأماكن المغلقة، وفي هذه الحالة أيضا يمكن الاستفادة من حركة الهواء في دعم الراحة الحرارية من خلال زيادة معدلات تعرق الجسم. أما في الفترة شديدة الحر فمن الضروري عدم إدخال الهواء الخارجي نهارا، أو خفض حرارته قبل إدخاله، وهناك العديد من الطرق لتبريده وأكثرها إستخداما في المناخ الحار الجاف:

2.2.4. تبريد الهواء بالتبخير (Evaporation cooling)

إن عملية تبخر الماء تمتص الطاقة لتغيير الماء من سائل إلى غاز، وتسمى بالحرارة الكامنة لتبخير الماء، هذه الطاقة المستمدة من البيئة المحيطة، كحرارة الهواء عند مروره على حوض مياه أو من خلال أوراق الشجر، وكنتييجة لذلك تنخفض حرارة الهواء¹.



الشكل 6.3. صورة توضيحية للتبريد بالتبخير.

(المصدر: Naghman Khan.2008)

العديد من المباني في البلدان الحارة مصممة حول فناء مركزي، مع نافورة أو حوض ماء في المنتصف. تبخر الماء يبرد الهواء من حولها بشكل مباشر، بحيث يصبح الهواء أثقل وينتقل إلى المساحات المحيطة بها².

¹ Bouchahm, Y., Bourbia, F., Belhamri, A. (2011). Performance analysis and improvement of the use of ind tower in hot dry climate. *Renewable energy*, 36, 898-906.

² Khan, N., Su Y., Riffat S. B. (2008). A review on wind driven ventilation techniques. *Energy and buildings*, 40, pp. 1586-1604.

كما أستخدمت ظاهرة التبريد بالتبخير في ملاقف الهواء منذ القدم في المناخ الحار الجاف لتحسين الأداء الحراري للملقف، حيث يستفاد من عملية تبخر الماء في خفض حرارة الهواء، وذلك بوضع جرة فخارية بها ماء في الممر الهوائي وعند ملامسة الهواء الجاف لها يتبخر الماء وتنخفض درجة حرارته بالموازاة مع إرتفاع رطوبته النسبية¹.

وقد إستخدمت هذه الظاهرة الفيزيائية في التبريد منذ العمائر القديمة بإيران والعمارة المصرية وصولا إلى المناطق الجافة في المغرب الإسلامي وذلك على بإدماجها على مستوى أبراج الرياح بإعتبارها الأكثر إنتشارا في تبريد المباني في المناخ الحار الجاف.

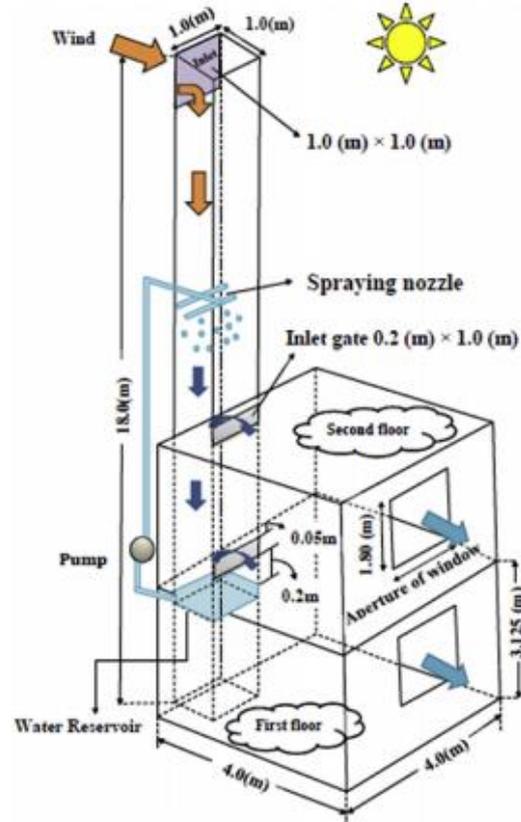
وقد تنوعت أساليب نفق البرج كما يلي:

- تقسيم النفق العمودي إلى قنوات طينية.
- إستخدام ستائر مبللة (كترتوية أو أقمشة).
- إستخدام جرة مثقوبة معلقة مع أحواض مائية أسفل البرج.

في حين أستخدم نظام رش الرذاذ من أعلى البرج من أجل زيادة كفاءة التبخير بالتزامن مع تجنب نشأة الطحالب التي تمثل وسطا لنمو الفطريات والبكتيريا. ومن أمثلة ذلك الدراسة التي أنجزها "بوشتيري" (Poshtiri)². كما أن البرج مزود بحوض ماء في الأسفل من أجل إسترجاع المياه حفاظا عليها ومساهمة في زيادة التبريد بإعتبار أن الماء بعد كل عملية يفقد حرارة أكثر من الهواء فيساهم في التبريد عن طريق ملامسته للهواء كذلك.

¹ Bahadori, M. (1994). Viability of wind towers in achieving summer comfort in the hot arid regions of the Middle East. *Renewable Energy*, 5, 879-892.

² Poshtiri, A. H., Mohabbati, S. M. (2017). Performance analysis of wind catcher integrated with shower cooling system to meet thermal comfort conditions in buildings. *Journal of Cleaner Production*, 148, 452-466



الشكل 7.3. نظام التبريد المباشر بالتبخير باستخدام برج الرياح للباحث "بوشتييري" (المصدر: Poshtiri.2017)

أظهر هذا كفاءة كبيرة في التبريد بالموازات مع زيادة الرطوبة النسبية على طول النفق العمودي للبرج. بعض نتائج البحث ممثلة في الجدول 3.3. الذي يحوي مخارج نظام التبريد بعد تجاوز 6 م في حالة حرارة هواء خارجي قيمتها 30°م.

الجدول 3.3. نظام التبريد بالتبخير باستخدام برج الرياح للباحث "بوشتييري" (المصدر: Poshtiri.2017)

Ambient Air Temperature 3.00°C					
Relative Humidity of Ambient Air (%)					
	10.00	30.00	50.00	70.00	90.00
Mass of Evaporated Water (kg/hr)	7.87	4.16	1.06	0.90	0.18

3.2.4. استخدام السعة الحرارية (geothermal) لسطح الأرض

هو نظام يستخدم الطاقة الحرارية السطحية للأرض حيث تختلف درجة حرارتها عن حرارة الهواء الملاصق لها ويزداد هذا الفارق مع العمق، وقد أشارت بعض الدراسات إلى أن درجة الحرارة على عمق 3 أمتار تقريبا

يكون ضمن المجال 5-15° بحسب نوعية التربة وفصول السنة في حين أن درجة حرارة الهواء الملامس لسطح الأرض قد يتجاوز 40°¹.

يستخدم هذا النظام في تبريد (أو تسخين) الهواء الخارجي قبل إدخاله للمبنى وذلك بتمريره عبر أنابيب تحت سطح الأرض، بحيث يفقد الهواء بعضاً من الحرارة في الأسطح التي يمر عبرها، ويسمى في حالة استخدامه للتبريد "بئر بروفنسال".

ملاحظة :

يجب التنبيه هنا إلى ضرورة دراسة التركيبة المعدنية للتربة للتأكد من عدم إحتوائها على الغاز المشع "رادون" (Radon) والموجود بشكل طبيعي في التربة نتيجة تحول بعض العناصر مثل "يورانيوم 238" (238 Uranium) و"يورانيوم 226" (Uranium 226) وهو غاز خطر في حالة إستنشاقه حيث يسبب مرض السرطان، ويكمن الخطر هنا في إمكانية نفاذه عبر قنوات التمرير من خلال الشقوق².

3.4. دراسة الفتحات لدعم تدفق الهواء

من أجل الإستفادة القصوى من التهوية الطبيعية وجب على المعماري توظيف مداركه الخاصة بألية حركة الهواء لتوظيفها في إيجاد حلول طبيعية تدعم حركة الهواء داخل المبنى. بعد دراسة حركة الهواء يصل المعماري إلى مرحلة التحكم في مناطق الضغط لدعم التهوية من خلال دراسة الفتحات (موضعا ومساحة)، وقد أجريت العديد من الدراسات لمعرفة أحسن موضع وتوجيه للفتحات بالنسبة لإتجاه الرياح والتي قسمت إلى الموضع الأفقي والرأسي³.

1.3.4. الموضع الأفقي للنوافذ

لإبراز حالات التهوية الملائمة والغير ملائمة قمنا بالاستعانة بالشكل 8.3. وذلك وفق ثلاثة حالات:

- الحالة 1: وجود فتحتين في جدارين متقابلين وإتجاه الرياح عمودي على فتحة المدخل. يتكون تيار هوائي سريع وفي خط مستقيم وهو ما يسبب نوعاً من الإزعاج إضافة إلى عدم تجانس التهوية داخل المجال.
- الحالة 2: إتجاه الرياح مائل على فتحة المدخل المقابلة لفتحة المخرج. حجم الهواء يتحرك في معظم أركانها وبالتالي تتحقق تهوية أكثر تجانسا.

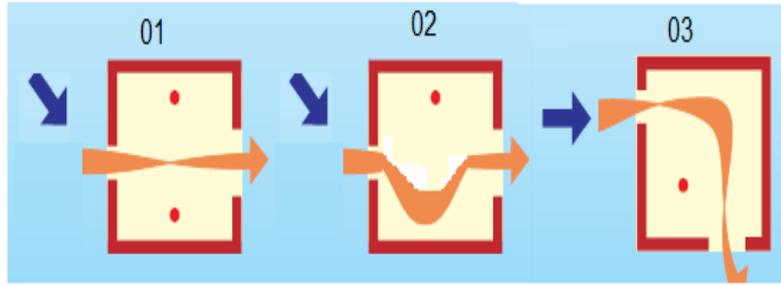
¹ Boustani, F., (2008). Sustainable water utilization in arid region of Iran by Qanats. *World academy of science,*

Engineering technology, 19,213-216.

² Instituts Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement. (2007). « OP.cit ».

³ Givoni, B. (1978). « OP.cit ». pp. 313.

- الحالة 3: أحسن موضع لفتحة المخرج بحيث يكون في الجدار المجاور لفتحة المدخل. تكون معدلات التهوية جيدة¹.



الشكل 8.3. وضع الفتحات بالنسبة لاتجاه الريح. (المصدر: Liébard.A et Herde.A.2004)

2.3.4. الموضع الرأسي للفتحات

إن تحديد الموضع الرأسي للفتحات ذو تأثير أساسي في التحكم بحركة الهواء من وإلى داخل البناء وكذلك توزيعه الرأسي داخل الفراغ، نظرا لإرتباطه بالتدرج الرأسي للضغط الجوي وهو ما يظهره الشكل 9.3.:

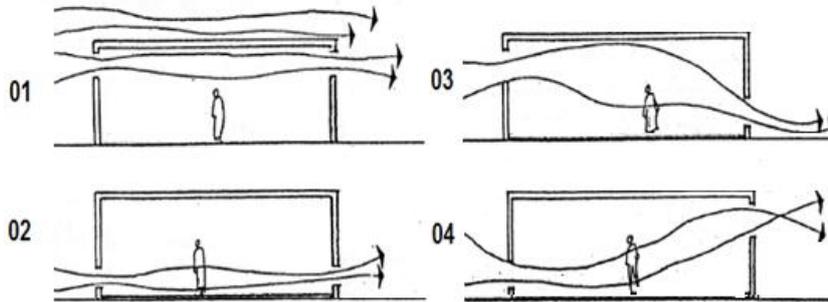
- الحالة 01: فتحتي الدخول والخروج أعلى من مستوى الشخص يؤدي هذا إلى ركود في حركة الهواء على مستوى المستخدم.

- الحالة 02: الفتحتين على نفس إرتفاع الشخص فيستفيد المستخدم من تهوية مناسبة.

- الحالة 03: فتحة المدخل مرتفعة عن فتحة المخرج. فتكون التهوية سيئة.

- الحالة 04: فتحة المدخل منخفضة عن فتحة المخرج. فيستفيد المستخدم من تهوية مناسبة.

كما يمكن التحكم في إتجاه الهواء أفقيا أو إلى عموديا بإستخدام الحواجز العمودية أو الأفقية².



الشكل 9.3. وضع الفتحات الرأسي لاتجاه الريح. (المصدر: Liébard.A et Herde.A.2004)

¹ Liébard, A., De Herde, A. (2004). « OP.cit ». pp. 296.

² Melaragno, M. G. (1982). Wind in Architectural and Environmental Design, p323. New York Van Nostrand Reinhold Company.

3.3.4. مساحة الفتحات

لفهم تأثير مساحة الفتحات على دخول وخروج الهواء أجرى الباحث "دجيفوني" (Givoni)¹ العديد من التجارب العملية، وستتطرق هنا إلى التجارب الخاصة بدراسة علاقة مساحة فتحة المدخل بفتحة المخرج وذلك وفق مجموعتين من التجارب:

- أجريت المجموعة الأولى على نموذج له فتحة واحدة وفي كل مرة يتم تغيير مساحة النافذة وإخضاعها لاتجاه للرياح (إتجاه عمودي وإتجاه مائل)، والنتائج مسجلة في الجدول 4.3. وأوضحت النتائج أن سرعة الهواء تزداد كلما زادت مساحة النافذة.

- أما المجموعة الثانية فأجريت على نموذج به نافذتان في الواجهتين المتقابلتين لتوفير التهوية الأفقية مع التغيير في كل حالة في مساحة مدخل ومخرج الهواء، وأظهرت النتائج أنه كلما كانت فتحة الخروج أكبر من فتحة الدخول كلما زادت سرعة الهواء.

الجدول 4.3. تأثير زيادة مساحة النافذة على سرعة الهواء. (المصدر: B.Givoni.1978).

نسبة عرض النافذة			اتجاه الرياح
3/3	3/2	3/1	
%16	%13	%13	عمودي على النافذة
%23	%15	%12	مائل في مواجهة النافذة
%17	%17	%14	عمودي على الواجهة الخلفية للنافذة

4.3.4. التهوية الرأسية باستخدام القباب

باعتبار أن شكل القبة يسمح بتوفير حجم أكبر لحمل الهواء الساخن إلى أعلى تتولد منطقة ضغط منخفض في أعلاها تعمل على إخراج الهواء الساخن عبر نوافذها ليحل محله هواء أقل حرارة من النوافذ أو أي مصدر للهواء البارد².

¹ Givoni, B. (1978). « OP.cit » pp. 305.

² Soflaee, F., Shokouhian, M. (May 2005). Natural cooling systems in sustainable traditional architecture of Iran. *International Conference Passive and low energy cooling for the built environment*, p. 715-719. Santorini.

كما تعمل الرياح على تبريد السطح الخارجي للقبة، وهو ما يدعم إنتقال الحرارة من الداخل إلى الخارج بواسطة التوصيل، وتعتبر الدراسة الملائمة لمواضع مخارج الهواء مهمة من أجل الإستفادة من قوة الرياح في توزيع مناطق الضغط بحيث تدعم آلية التهوية الرأسية (أنظر الفصل الرابع).

خلاصة

تطرق هذا الفصل إلى أهم العناصر المؤثرة في البيئة الحرارية للمبنى بشيئ من التفصيل، كما أورد أن أي خلل في الأداء الحراري في المرحلة الصيفية، له تبعات وتكاليف إقتصادية وبيئية، بإعتبار التكيف الآلي مستهلك واضح للطاقة مع ما يواكب ذلك من طرح لغازات الدفيئة، سواء نتيجة إستهلاك الطاقة الأحفورية أو نتيجة للغازات المستخدمة في الأجهزة.

كما أن إستخدام للتبريد دون تقييم فعلي لمتطلبات المستخدمين من شأنه أن يؤثر بشكل مباشر على النظام التنفسي، الأوعية الدموية، و المفاصل. وهذا في حالة تجاوز الفارق الحراري بين الداخل والخارج 10م°. تهوية المباني هو المصطلح الذي يقصد به عملية تغيير الهواء الداخلي بهواء نقي من الخارج، ويعتبر توفير المعدل الأدنى من التهوية الطبيعية داخل المباني من العناصر الضرورية لحياة الإنسان من أجل راحته، صحته وحيويته.

يتطلب التخلص من الإجهاد الحراري داخل المبنى تصميمًا مناخيا يتيح أكبر قدر من التهوية، ولأجل زيادة كفاءة التهوية الطبيعية في ذلك عمد سكان المناطق الحارة إلى إستخدام تقنيات مختلفة، والتي تهدف في مجملها إلى دعم تدفق الهواء داخل المبنى، وكذلك تبريده قبل إدخاله.

ولغرض دراسة متطلبات الوسط الحراري للمصليين في المناخ الحار الجاف، سنقوم في الفصل الرابع والخامس بإيراد تفاصيل الدراسة الميدانية الخاصة بدراسة الراحة الحرارية والعوامل المؤثرة فيها خصوصا سرعة الهواء، سعيا منا لتوفير بيئة حرارية مريحة دون الإضرار بالصحة، مع التقليل من الأعباء الاقتصادية والتكاليف البيئية.

الفصل الرابع:

حالة وأدوات الدراسة

الفصل الرابع: حالة وأدوات الدراسة

مقدمة

أوضح الجزء النظري الأهمية الكبيرة للشعور بالراحة الحرارية في أداء الأنشطة على وجهها المطلوب، باعتبار أن الشعور بالرضا في الوسط الحراري وبالإضافة إلى بعده الفيزيولوجي لديه البعد الذهني. ومع ما تقتضيه الصلاة كنشاط بحاجة إلى الخشوع والذي هو "إعتزال ما يشوش الذهن أثناء الصلاة، للتفرغ لإستحضار العلاقة مع الله" تظهر الأهمية القصوى لتوفير البيئة الحرارية للمصلين.

لتوفير وسط حراري ملائم للمصلين، لا بد من فهم ودراسة الإحساس الحراري لهم في بيئتهم الحقيقية (المناخ، الطعام، الخصائص الفيزيولوجية المحلية)، وأثناء أداء النشاط (الصلاة). إضافة إلى ضرورة دراسة العديد من الظروف المتعلقة بالبيئة الحرارية للإمام بالموضوع بشكل دقيق والتي تعتبر حركة الهواء أحد عواملها الأساسية والقادرة على التغير بإجراءات معمارية بسيطة أو باستخدام وسائل تكنولوجية معقدة.

1. العناصر البنائية للمساجد التاريخية في إقليم الدراسة

بعد فتح المسلمين للمغرب العربي في القرن السابع ميلادي أقيمت المساجد الأثرية التي كانت بمثابة سمة العمارة الإسلامية لبلاد المغرب الإسلامي، مع إختلافات بسيطة فيما بينها بإختلاف الإقليم المحلي، مثل إقليم الدراسة (شرق الصحراء الجزائرية) وهو يضم منطقة "وادي سوف، منطقة وادي ريغ والزاب" بجنوب شرق الجزائر¹.

تسمى المنطقة التي تحيط "ببمسكرة منطقة الزاب" وهي المنحدرات الجنوبية لجبال الأطلس الصحراوي، تحده من الشرق "جبال النمامشة" ومن "الشمال جبال الأوراس" ومن الغرب جبال "أولاد نايل" ومن الجنوب "منخفض وادي ريغ"². من مساجد المنطقة (مسجد سيدي عقبة، مسجد سيدي الحافي، ومسجد سيدي موسى الخذري). ومن الناحية التاريخية كانت منقطة وادي ريغ تابعة للزاب نظرا لتجاورها وإحتكاك سكانهما، كما خضعتا لنفس السلطة منذ تأسيس دار الإمارة في إفريقيا إلى حكم الحفصيين¹. ثم العثمانيين الذين أسسوا مسجد نصر بن عزوز في القرن السابع عشر ميلادي¹.

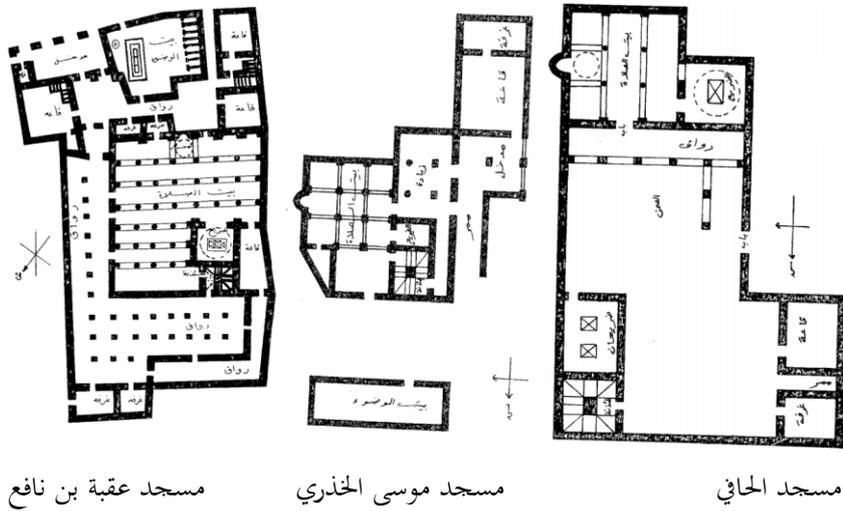
¹ شهبي، ع.ا. (1985) مساجد أثرية في منطقتي الزاب و وادي ريغ، ص 06. الجزائر: جامعة الجزائر، معهد الآثار.

² الجنحاني، الحبيب. (1978). المغرب الإسلامي، ص 16. تونس.

وتعتبر المساجد التاريخية التالية مرجع لتقييم علاقة البناء بماضيه:

- سيدي عقبة (بمدينة سيدي عقبة، القرن 3م).
- سيدي موسى الخذري (بمدينة بسكرة، القرن 9م).
- مسجد الجامع الكبير للعزابة (ورقلة، القرن 10م).
- مسجد تماسين (تقرت، القرن 14).
- مسجد سيدي الحافي (مدينة سيدي عقبة، القرن 16م).

الشكل 1.4. والشكل 2.4. يظهران مخططات المساقط لمجموعة من المساجد الأثرية بالجنوب الشرقي الجزائري وفق فئتين من التصنيف مساجد منطقة "الزاب" ومساجد "وادي ريغ".

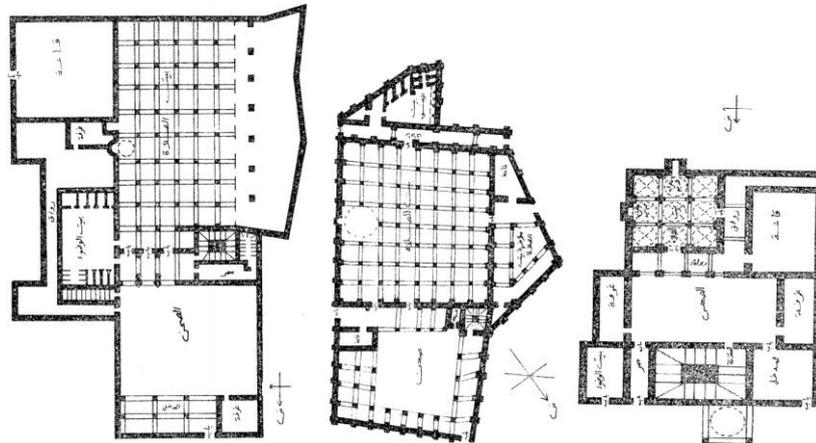


مسجد عقبة بن نافع

مسجد موسى الخذري

مسجد الحافي

الشكل 1.4. المساجد الأثرية بمنطقة الزاب. (المصدر: عبد العزيز شهني، 1985)



المسجد الكبير للعزابة

المسجد الكبير بتقرت

مسجد تماسين

الشكل 2.4. المساجد الأثرية بمنطقة وادي ريغ. (المصدر: عبد العزيز شهني، 1985)

1.1. الشكل العام للمساجد الأثرية بالمنطقة

الشكل العام للمساجد التاريخية ذات شكل مضلع غير منتظم، سواء تعلق الأمر بمساجد وادي ريغ أو مساجد الزاب. ويظهر مليا في الشكلين 1.4 و 2.4. أن مساجد منطقة الزاب ذات جوف أكبر من العرض (العرض هو جهة الشرق) إذا إستثنينا مسجد الحاي. في حين يطغى العرض على الجوف في مساجد وادي ريغ.

2.1. الشكل العام للمساجد الثرية بالمنطقة

1.2.1. العناصر المجالية ذات التأثير على الوسط الحراري

1.1.2.1. قاعة الصلاة

يغلب الشكل المستطيل على المساجد الأثرية في كلا المنطقتين، فنجد أبعادها كما يلي: مسجد موسى الخذري (28.4م × 22.2م)، ومسجد الحاي (32م × 21.5م)، ونجد الشكل المربع في مسجد تماسين (ضلعه 7م)، وجامع تقرت (ضلعه 25م). أما ارتفاعها فتراوح بين 5 و 8م. أما موقع بيت الصلاة بالنسبة لمبنى المسجد فقد أخذ عدة مواقع: الجهة الجنوبية، الجنوبية الشرقية، الشرقية

وهو دليل على عدم التقيد بجهة معينة وإنما تخضع لإختيار المصمم وفق إحتياجات الموقع.

2.1.2.1. الصحن

إختلفت أشكاله بإختلاف المساجد فقد كان رواقا غير منظم يحيط بقاعة الصلاة من الشرق إلى الغرب في مسجد عقبة بن نافع، في حين كان مسقفا في مسجد موسى الخذري بشكل مدخل أبعاده (8.3م × 5.2م)، وقد وضع بجانب قاعة الصلاة جهة الشمال في مسجد "تماسين" والمسجد "الكبير للعزابة" وكذلك المسجد "الحاي".

2.2.1. العناصر المعمارية ذات التأثير على الوسط الحراري

1.2.2.1. الجدران والسقوف

بنيت جميع جدران المساجد الأثرية في منطقة الزاب باللبن والطين، وأضيفت مادة الجص في بناء مساجد منطقة وادي ريغ، أما سمك الجدران فقد تراوح في كل المساجد الأثرية بين 0.6م و 0.8م، وهي بهذا السمك ووفق هذه المواد البنائية تساهم في حماية قاعة الصلاة من الريح الحراري الخارجي في الفترة الحارة.

أما السقوف فقد اختلفت بين المنطقتين فنجدها قد بنيت بالسعف والطين في منطقة الزاب، في حين استخدمت القباب المتعددة لتغطية مساجد منطقة وادي ريغ بنفس مواد البناء المستخدمة في الجدران.

2.2.2.1. الأبواب والنوافذ

تمت العناية بعدد الأبواب المؤدية لقاعة الصلاة ومواقعها حيث لم يتجاوز عددها في كل المساجد الأثرية أربعة مداخل، كما أن معظمها يقع في الجهة الشمالية أو الغربية. أما عرضها فكان في معظمها 1.3 م وهي أقل مسافة لمرور شخصين بأرياحية.

أما النوافذ فهي قليلة وضيقة كذلك ولا تتجاوز ستة نوافذ وبأبعاد لا تتجاوز 0.8 م وذلك للحفاظ قدر الممكن على الجو الداخلي من الريح الحراري الخارجي لإعتماد هذه المساجد على السعة الحرارية بشكل أساسي.

3.2.2.1. القباب

تحتوي المساجد الأثرية بالمنطقة على قباب تختلف في أبعادها، عددها، ومواقعها، وعند إستثناء مسجد موسى الخذري يلاحظ أن موقع القبة الأساسية تقع فوق المخراب جهة الصفوف الأولى. أما شكلها فيغلب عليها الشكل نصف الكروي ذو القاعدة الثمانية المزودة بنوافذ ضيقة في رقبته في منطقة "الزاب"، وهي ذات قاعدة أسطوانية في مساجد منطقة "وادي ريغ".

4.1.2.1. الأروقة المظللة المحيطة بقاعة الصلاة

تعتبر الأروقة المغطاة بجوانب قاعة الصلاة، من العناصر المستخدمة لتوفير الظلال على الفتحات لحماية قاعة الصلاة من نفاذ الأشعة الشمسية المباشرة كما تستخدم كمجال إنتقالي قبل الولوج للقاعة. وقد اختلفت إستخدامات هذا العنصر بين المساجد الأثرية بالمنطقة، فنجدها تفصل قاعة الصلاة عن الصحن في المسجد الكبير للعزابة ورواق في الجهة الغربية بأبعاده (4م×10.6م). في حين نجد الأروقة محيطة بالجهات الثلاثة لقاعة الصلاة بمسجد "تقرت الكبير".

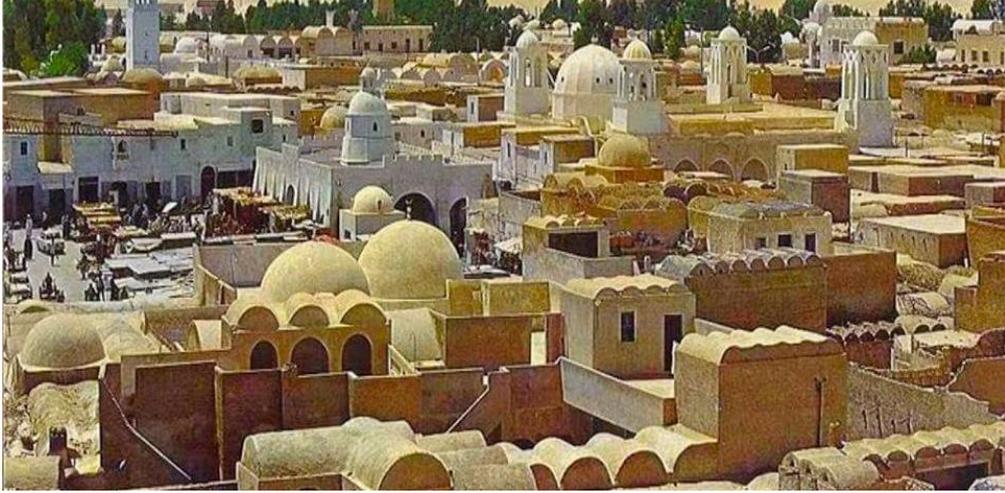
2. حالة الدراسة

أسست هذه الأطروحة لمعالجة إشكالية فهم الراحة الحرارية للمصلين في مساجد المناخ الحار الجاف، وكذلك فهم التأثير الدقيق لحركة الهواء في الإحساس الحراري للمصلين لذات المناخ، وللوصول للأهداف المرجوة سعى البحث إلى محاولة الموازنة بين إيجابيات النموذج الذاتي في التقييم والذي يعطي صورة واضحة ودقيقة

بحكم واقعية المناخ والمبنى وكذلك المستخدمين بكل خصوصياتهم، بالإضافة إلى إيجابيات العمل المخبري الذي يتيح فرصة التحكم في السيناريوهات ولو بصورة نسبية. وعليه سنتطرق إلى جوانب اختيار الحالة "مسجد أبي موسى الأشعري في مدينة وادي سوف بالجزائر" وفق العناصر التالية:

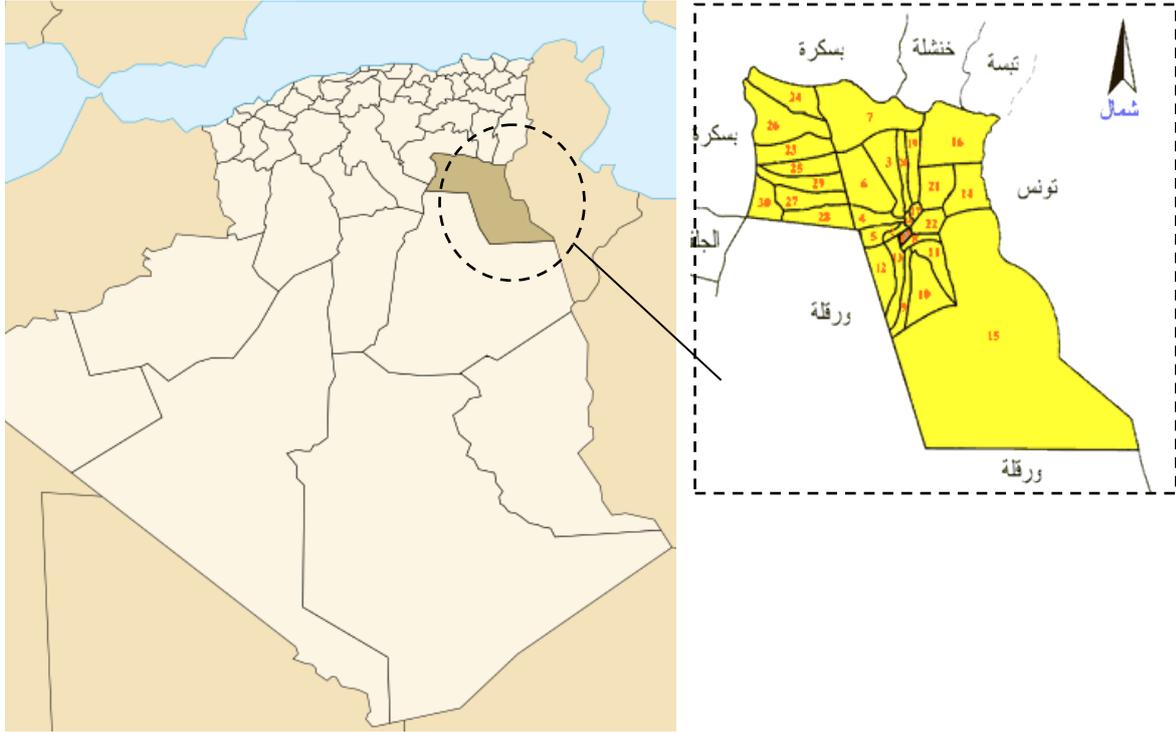
1.2. الموقع الجغرافي

مدينة وادي سوف المعروفة باسم "مدينة الألف قبة" هي المركز الإداري لولاية الوادي المعروفة بـ: "عاصمة الرمال الذهبية"، والتي تقع في الجنوب الشرقي لدولة الجزائر، حيث يحدها من الشمال ولايات "تبسة بسكرة وخنشلة"، ومن الجنوب ولايتي "ورقلة والجلفة". وتنقسم الأصول العرقية للإقليم إلى "منطقة وادي سوف ومنطقة وادي ريغ" وذلك بعدد سكان يبلغ 562.973 ألف نسمة سنة 2000.

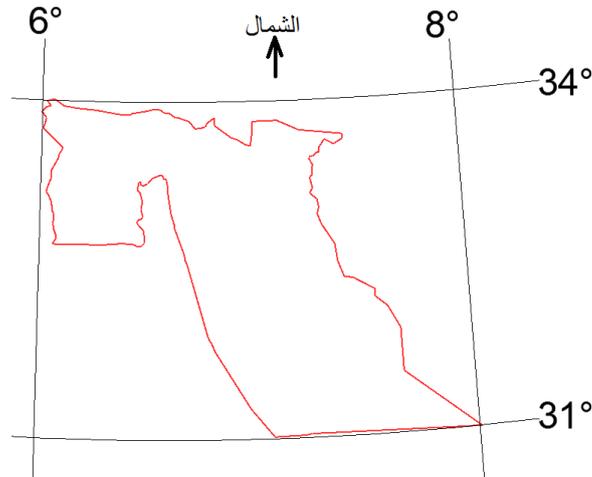


الشكل 3.4. صورة علوية لمدينة وادي سوف "مدينة الألف قبة".
(المصدر: www.facebook.com/Ness.Souf)

تمتد أراضي إقليم وادي سوف من الشرق إلى الغرب بين خطي طول 6° - 8° ، وبين دائرتي عرض 31° - 34° ، وذلك على مسافة 160 كلم من الشرق إلى الغرب و620 كلم من الشمال إلى الجنوب. تبعد مدينة وادي سوف (عاصمة الولاية)، عن البحر بمسافة 390 كلم، ويبلغ متوسط إرتفاع هذه المنطقة عن سطح البحر بمقدار 80 م.



أ



ب

الشكل 4.4. موقع مدينة وادي سوف. أ. الموقع الجغرافي بالنسبة للجزائر/ب. الموقع الفلكي (المصدر: http://dcommerce-eloued.dz/?page_id=16)

2.2. الجانب المناخي

لقد إهتم البحث بدراسة حالة المناخ الحار بإعتبار معظم العالم الإسلامي يقع ضمن نطاق المناخ الحار، خاصة وأن فصل الحر يستمر لفترة طويلة مع ما يصاحب ذلك من إستهلاك كبير للطاقة يرقى لدرجة

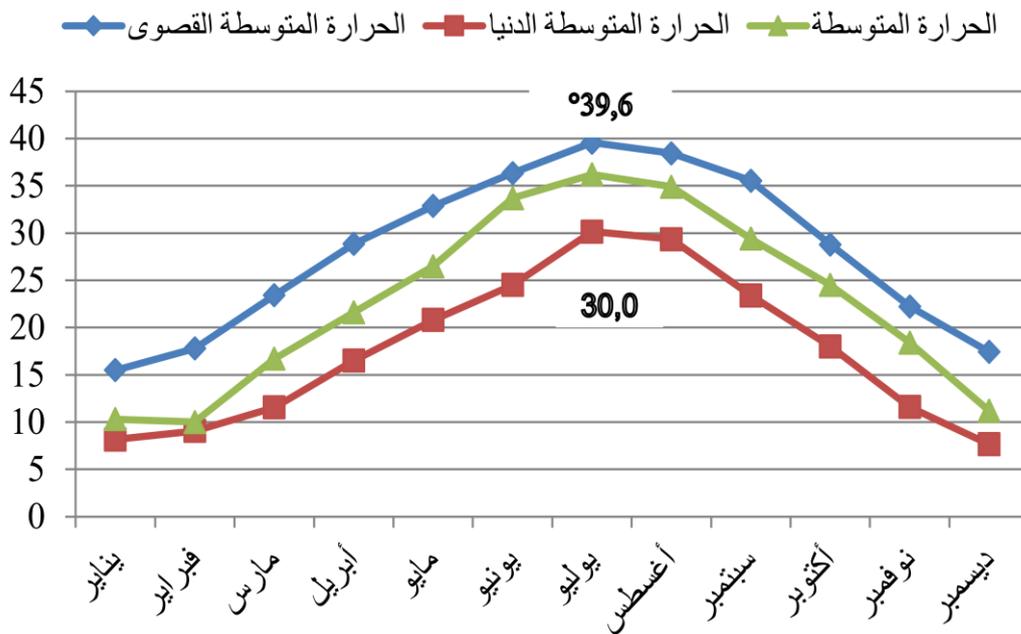
الإسراف والذي يعارض توجيهات الدين الإسلامي ويغطي المناخ الحار الجاف أغلبية مساحة الجزائر، حيث يمثل المناخين (الحار الجاف والشبه الجاف) أكثر من 80% من مساحة الجزائر.

وتعتبر مدينة وادي سوف نموذجا مثاليا للمناخ الصحراوي الجاف، والذي يمكن تقديم عناصره كما يلي:¹

1.2.2. الحرارة

تعتبر الحرارة السائدة في أي إقليم من بين أهم العوامل المميزة للمناخ، وتعرف مدينة وادي سوف بارتفاع درجات الحرارة خلال المرحلة الحارة من العام والتي تستغرق حوالي 7 أشهر تبدأ بنهاية شهر مارس وتستمر إلى نهاية أكتوبر. وتسجل الحرارة المتوسطة القصوى 40°م لشهري جويلية وأوت. وقد تصل لعتبة 50°م في عدة حالات. وسجلت القيمة المتوسطة 30.8°م في الفترة الممتدة من شهر ماي إلى أكتوبر.

ولفهم أوضح للفترة الحارة نأخذ شهرا من كل فصل فنجد أن: شهر أبريل من "فصل الربيع" تصل الحرارة المتوسطة القصوى به 28.9°م وفي شهر سبتمبر من "فصل الخريف" إلى 35.6°م في حين أن "فصل الصيف" ممثلا في شهر جويلية وصلت الحرارة المتوسطة القصوى به 39.6°م. وهو ما يبرز أن مدينة الوادي ذات مناخ حار، وهو ما يدعم إختيارها كموضوع للدراسة.

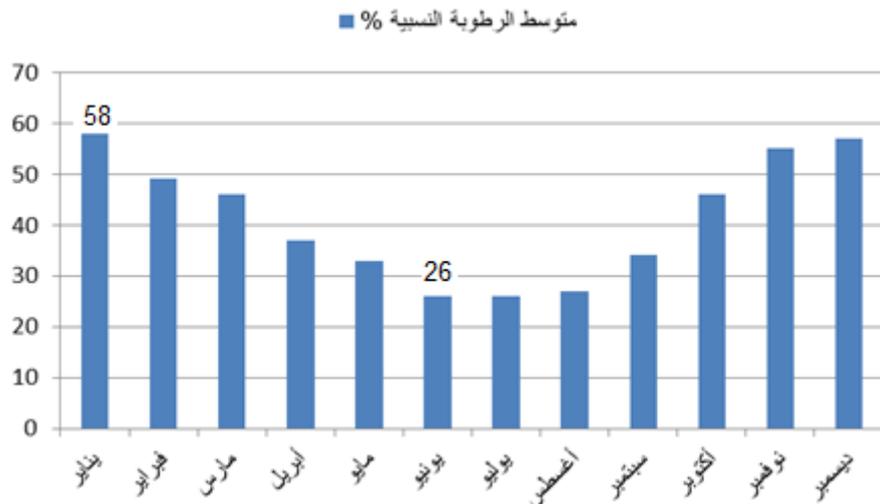


الشكل 5.4. الرسوم البيانية لمختلف القيم الحرارية المتوسطة الشهرية (2006-2016)
(المصدر: Official Weather Service in 2016 of Elouad)

¹ Official Weather Service in 2016 of Elouad, Algeria.

2.2.2. الرطوبة

تعتبر الرطوبة النسبية للهواء العامل الأساسي في تحديد مدى رطوبة المناخ أو جفافه، وتتغير الرطوبة من فصل لآخر وحتى بين الليل والنهار. ومدينة وادي سوف تتميز برطوبة نسبية سنوية بمتوسط 41.16%.
 - نسبة الرطوبة المتوسطة القصوى سجلت في شهر يناير (جانفي) بقيمة 58%.
 - نسبة الرطوبة المتوسطة المنخفضة سجلت في شهري يونيو ويوليو (جوان وجويلية) 26%.
 وهو ما يؤكد على أن مدينة وادي سوف ذات مناخ جاف، وهو ما يدعم إختيارها كموضوع للدراسة.



الشكل 6.4. الرسوم البيانية لمستويات الرطوبة النسبية المتوسطة الشهرية (2006-2016)
 (المصدر: Official Weather Service in 2016 of Eloud)

3.2.2. التساقط

مدينة وادي سوف بمناخها الجاف لا تستقبل أكثر من 89.21 ملم سنويا (2006-2016). وتتساقط معظم هذه الكمية في ثلاثة أشهر في حين تبقى بقية الأشهر التسعة نادرة التساقط خصوصا شهري جوان وجويلية الشديدي الجفاف.

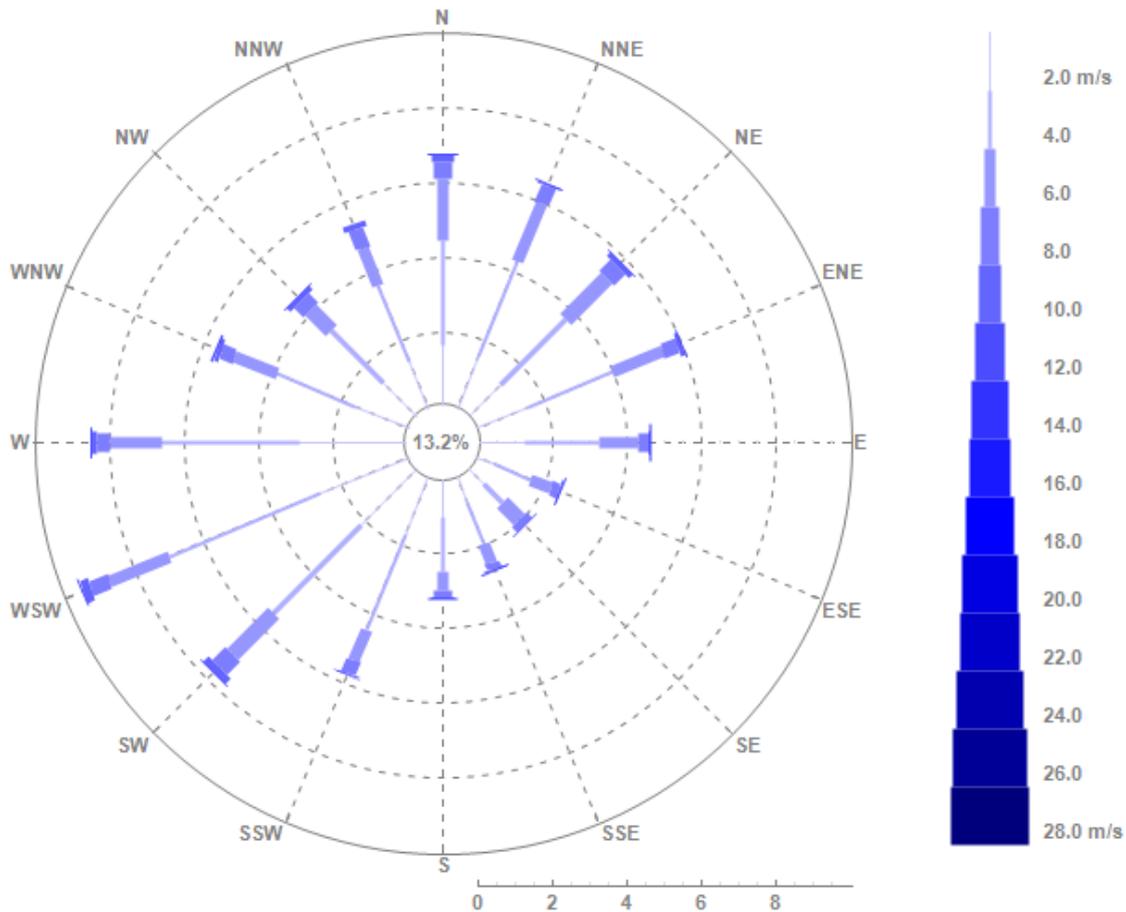
4.2.2. الرياح

تعتبر الرياح عنصرا أساسيا في عملية التهوية الطبيعية حيث تتعرض الواجهات المقابلة لهبوب الرياح إلى منطقة ضغط مرتفع في الوقت الذي تتشكل فيه منطقة للضغط المنخفض في الجهة الغير مواجهة، وهو ما يفتح مجالا للمصمم للإستفادة منها، من خلال دراسة إتجاهها وتوظيف العناصر المعمارية الكفيلة بالإستفادة

منها عندما تتاح الظروف لذلك. وتسود على المنطقة الرياح الحارة المسماة بالشهيلي (السيروكو)، وهي رياح حارة وجافة تهب من الجنوب بإتجاه الشمال.

في حين تهب رياح غير دائمة من الشمال الشرقي (الظهاوي) في الربيع وهي رياح رطبة نسبية لكنها عادة محملة بالغبار والرياح الرملية، بسرعة 1.4م/ثا.

أما رياح فصل الخريف (البحري) فتكون ذات إتجاه "شرق وغرب" وهي رطبة نسبيا وتتراوح سرعتها بين 10 و 11 كلم/سا. يبين الشكل 7.4. زهرة الرياح للمنطقة.



الشكل 7.4. زهرة الرياح لمدينة وادي سوف

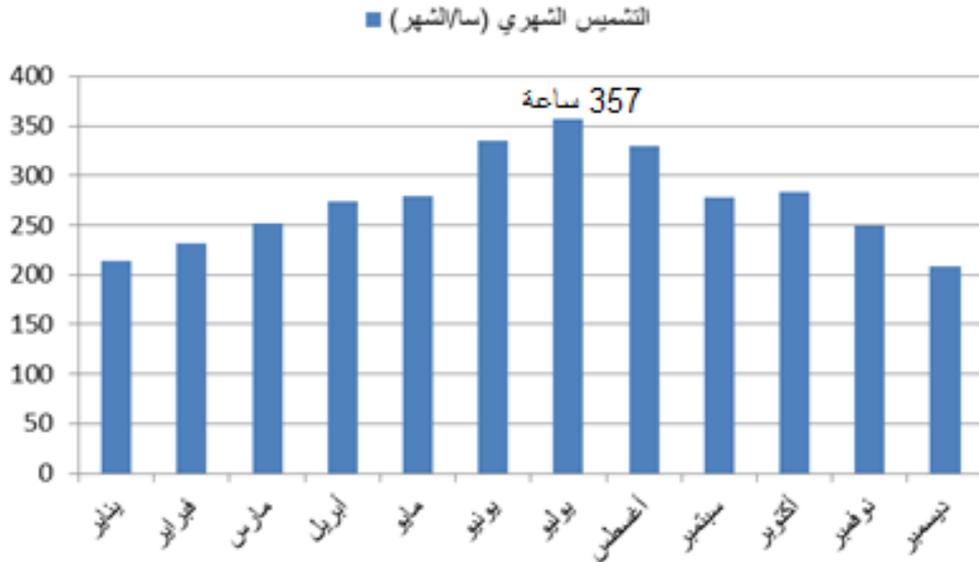
المصدر: برنامج METEONORM Version 7.x

5.2.2. التشميس

يعتبر التشميس من العوامل المحددة لخصائص المناخ والمحددة لمستويات الحرارة والرطوبة به، ويتم التعبير عنه بشكل مبسط على أنه عدد ساعات تعرض سطح أرض المنطقة لأشعة الشمس. وهو مرتبط بالموقع

الجغرافي وكذلك صفاء السماء من السحب وهي عوامل تدعم التشميس في المناطق الصحراوية من أمثال مدينة وادي سوف.

تتعرض المنطقة لمدة تشميس جد مرتفعة، حيث يبلغ المتوسط السنوي 282.5 سا/شهر. وتبلغ هذه المدة أقصاها في شهر جويلية لتبلغ 357 سا/الشهر¹.



الشكل 8.4. الرسم البياني لعدد ساعات التشميس الشهرية (2006-2011)
(المصدر: Official Weather Service in 2016 of Elouad)

6.2.2. التبخر

يعتبر التبخر ذو أهمية كبيرة أثناء الفترة الحارة من العام، ويقاس التبخر ب: (ملم)، ويبلغ التبخر المتوسط الأقصى في شهر جوان 81.75 ملم، والتبخر المتوسط الأدنى 13.58 ملم.

3.2. الجانب المعماري (إختيار المبنى)

خضع إنتقاء المبنى إلى مجموعة من المعايير التي توفرت في مبناه من حيث التبرير التاريخي لعناصره من باب شمولية الدراسة، والجانب التقني الذي يسمح بخلق العديد من السيناريوهات في إطار دراسة أقرب للمخبرية (فيما يخص التحكم بحركة الهواء ولو بشكل نسبي)، ووصولاً إلى موقعه ونوعية العينات من أجل دقة النتائج وفيما يلي معايير إنتقاء المبنى:

¹ Official Weather Service in 2016 of Elouad, Algeria.

1.3.2. موقع المسجد

يقع المسجد المختار للدراسة (أبي موسى الأشعري) في حي "تقصبت" ذو الكثافة السكانية الكبيرة، في قلب محيط عمراني وهو يحاذي الطريق الوطني رقم 48 وبالتحديد في مدخل المدينة، مما يجعله في منطقة سكنية وتجارية. والمبنى مزود بمائضة في مدخله، تيسر على المصلين الولوج للقاعة بعد الطهارة دون عناء. كل هذه العناصر جعلت منه جاذبا للمصلين في كل أوقات الصلاة، خصوصا مع عدم قرب مساجد أخرى. أنظر الشكل 9.4 و 10.4.



الشكل 9.4. صورة جوية تظهر وجود مسجد أبي موسى الأشعري في الوسط العمراني
(المرجع: GOOGLE EARTH-PRO 2017)



الشكل 10.4. صورة جوية تظهر محيط مسجد أبي موسى الأشعري
(المرجع: GOOGLE EARTH-PRO 2017)



الشكل 11.4. صورة الشكل العام مسجد أبي موسى الأشعري
(المرجع: الباحث 2016)

2.3.2. قاعة الصلاة

تشارك المساجد الأثرية للمنطقة في الشكل الخارجي غير المنتظم، لكن قاعة الصلاة تتراوح بين الشكل المربع والمستطيل وهي نفس الحالة في مسجد أبي موسى الأشعري. الجدول 1.4 يقدم مقارنة بين أبعاد قاعة الصلاة لأمثلة من المساجد التاريخية وحالة الدراسة وهو يظهر وجود تقاربا في الأبعاد والنسب رغم الاختلاف في اتجاه الطول نتيجة وجود حالة الدراسة في جيب عمراني حتم قصر جدار القبلة مقارنة بالعمق.

حالة وأدوات الدراسة

الجدول 1.4 يقدم مقارنة بين أبعاد قاعة الصلاة لأمتلة من المساجد التاريخية وحالة الدراسة

حالة الدراسة	الحافي	موسى الخذري	الجامع الكبير بتقوت	المسجد
23,1	32	28,4	25.8	العرض (جدار القبلة) م
29	21,5	22,2	24.5	العمق م
8.5	5.0	5.0	6.0	الارتفاع

قاعة الصلاة بمسجد أبي موسى الأشعري ذات مساحة داخلية مقدارها 669.9 م² وبارتفاع داخلي 8.5م مقسمة إلى طابقين: الأرضي للرجال والطابق العلوي للنساء بينهما إنفتاح أسفل القبة. كما يحتوي المسجد على طابق تحت أرضي غير مستخدم للصلاة. والقاعة بهذه الأبعاد تتسع لـ: 850 مصلي من الرجال و650 من النساء. إستخدام في بناء المسجد المواد المستخدمة في بناء المباني في وقتنا وهي موضحة بالتفصيل في الجدول 2.4.

الجدول 2.4. مكونات العناصر البنائية المستخدمة (المصدر: الباحث)

العناصر البنائية	المكونات	السمك (ملم)	السمك الإجمالي (ملم)
الجدار الخارجي	تغطية داخلية بالاسمنت / رخام	30 / 15	350 / 335
	القرميد المجوف	100	
	صفيحة الهواء	50	
	قرميد مجوف	150	
	مزيج اسمنت	20	
الأرضية	خزف أرضي	25	200
	طبقة رملية	25	
	خرسانة مسلحة	150	
سقف داخلي	خزف أرضي	25	270
	طبقة رملية	25	
	سقف مجوف	200	
	الجبس	20	
سقف	الجبس	20	270
	سقف مجوف	200	
	عازل لنفاذ الماء	20	
	حصي	30	
الباب	خشب	30	30
إطار خشبي	خشب	50	50
زجاج	زجاج ملون	6	6

أما صباغة الجدران والسقوف فتطغى عليها الألوان الفاتحة:

- السيراميك الأصفر الباهت في الجزء السفلي من الجدران.
- أبيض مائل للرمادي في بقية أجزاء الجدران.
- الأبيض في السقوف.
- الأصفر الباهت في النوافذ والأبواب.
- ألوان فاتحة متنوعة أسفل القبة.

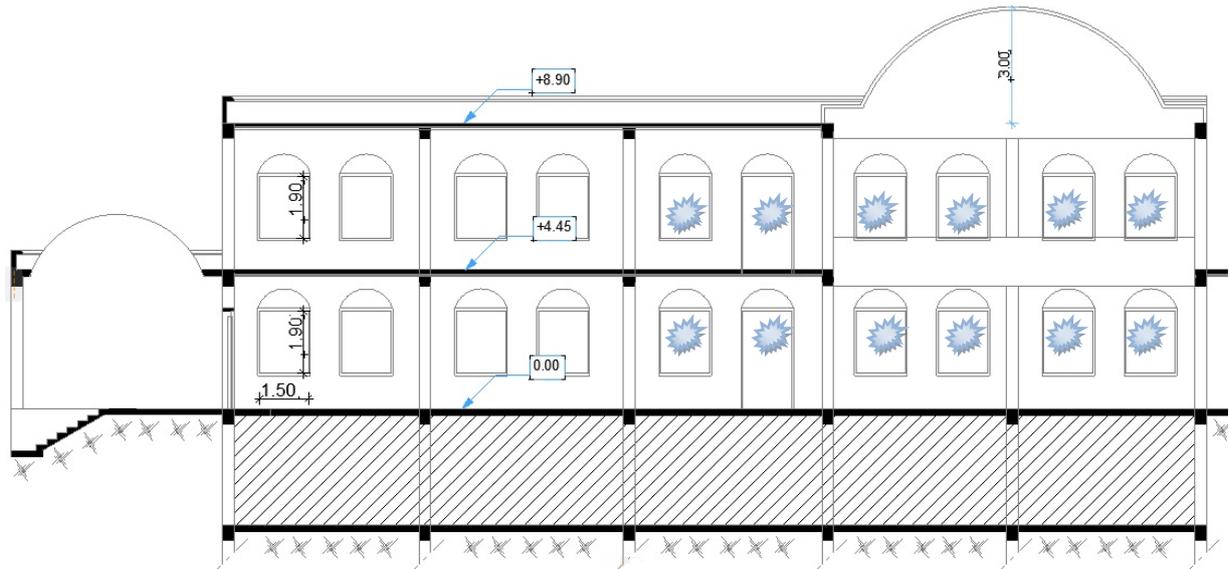
تحوي قاعة الصلاة جهة جدار القبلة على منبر بشكل شرفة يصل إليها الخطيب بسلم يقع خلف الجدار وهو يتمشى مع توجيه الباحث "مؤنس"¹.

المحراب في قاعة الصلاة بشكل تجويف مقوس داخل جدار القبلة كبقية المساجد الأثرية في الإقليم. أما المقصورة وهي القاعة الصغيرة المخصصة للإمام بنحدها في الجهة الشرقية لها باب في جدار القبلة وهو ما نشاهده في مسجد "عقبة بن نافع" وكذلك مسجد "موسى الخذري"، وكذلك الحال في مسجد "الجامع الكبير للعزابة".



الشكل 12.4. صورة لواجهة مسجد أبي موسى الأشعري

¹ مؤنس، ح. (1981). المساجد. ص75. الكويت: المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب.



النوافذ المستخدمة في الدراسة بشكل متناظر على الجانبين.



الشكل 13.4. المقطع الطولي لمسجد أبي موسى الأشعري. (المرجع: الباحث)

3.3.2. الصحن

لقد تنوعت أشكال ومواقع الصحن وكذلك أساليب السقف بإختلاف الزمان والمكان والطرز¹. ونجد هذا الإختلاف واضحا بين مساجد المنطقتين وكذلك من مسجد لآخر، حيث نلاحظ صحن مساجد "الزباب" معظمها حيازة على أروقة تحيط ببيت الصلاة مثل مسجد "عقبة بن نافع". ونجد الصحن بشكل رواق متقدم على المسجد بشكل مستطيل، أبعاده 5.4، 6.2 بالزاوية الغربية في مسجد "موسى الخذري"، ونلاحظ أن المسجد النموذج هو مزيج من الإثنين مع ضيق أبعاده (غير موجود كعنصر ذي أهمية) وذلك نظرا لإستبداله بقبة قابلة للإنتحاح بعد هدم المسجد القديم نتيجة الحاجة لمبنى يضم أكبر عدد من المصلين ليستجيب لكثافة السكان العالية.

يحتوي صحن المسجد في مدخله على الميضأة وهي المكان المخصص للوضوء تحضيرا للصلاة ويقع عادة في قلب الصحن في المساجد القديمة المزودة بالميضأة ثم جرت العادة على إنشائها في جوانب الصحن². وهو واقع الحال في مساجد المنطقة وكذلك نموذج الدراسة.

¹ نوبي، م. ح. (2002). عمارة المسجد في ضوء القرآن والسنة، ص56. القاهرة: دار تحفة الشرق.

² نوفل، م. ح. (1419هـ/1999م). المعايير التصميمية لعمارة المساجد، ندوة عمارة المساجد، ص85. الرياض: كلية العمارة والتخطيط.

4.3.2. القباب

معظم المساجد الأثرية في منطقتي الزاب ووادي ريغ تحوي قبة فوق المحراب للتأكيد على أهميته، وقبة في الجزء الغربي فوق الضريح.

يحتوي نموذج الدراسة على قبة فوق المحراب وقبة فوق الرواق كبديل عن قبة الضريح الذي إختفى في العصر الحديث. وهي بذلك تحاكي معظم المساجد الأثرية في المنطقة.

الجدول 3.4. موقع القباب وأبعادها في بعض المساجد الأثرية ونموذج الدراسة

المسجد	عقبة ابن نافع	موسى الخذري	الحافي	حالة الدراسة
عدد ومواقع القباب	1 فوق المحراب 1 في مؤخرة القاعة	1 في مؤخرة القاعة	1 فوق المحراب 1 في مؤخرة القاعة	1 فوق المحراب 1 فوق الرواق الخارجي الخلفي

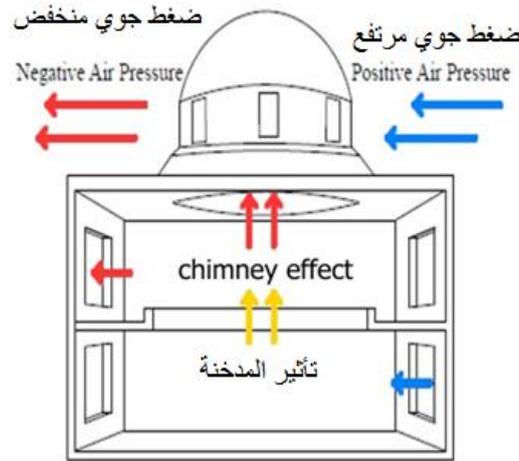
وقد تعددت أشكال القباب بحسب شكلها الخارجي ومنها شكل نصف كرة¹ الذي تبنته المساجد الأثرية في المنطقة وهو أيضا النموذج المستخدم في المسجد المختار للدراسة. وكذلك إستخدام القبة المتحركة مثل المسجد النبوي في المدينة². حيث أن القبة في حالة الدراسة متحركة لتعويض المصلى الخارجي المنتشر خصوصا في مساجد وادي ريغ. وتعتبر القبة المتحركة هنا وسيلة لتنويع سرعات الهواء من أجل دراسة تأثيرها على الراحة الحرارية. لطالما زودت قباب المساجد التقليدية والحديثة بالفتحات من أجل المساهمة في الإضاءة والتهوية الطبيعية.

وفقا لأبحاث "تايكوت" (Tavakol) وغيره³ و"تشينج" (Cheng) وغيره⁴ فإن السقوف ذات القبة التي تحتوي على فتحات قادرة على تعزيز التهوية الطبيعية تحت تأثير قوة الرياح والسحب الحراري. الشكل 14.4. يعطي فكرة عن إستخدام القبة للتهوية في المباني التقليدية.

¹ عزوق، ع. ا. (1996م). القباب والمآذن في العمارة الإسلامية، ص59. الجزائر: ديوان المطبوعات الجامعية.
² البحث عن إثبات علمي

³ Tavakol, M., Yaghoubi, M., Motlagh, M. M. (2010). Airflow aerodynamic on a wall-mounted hemisphere for various turbulent boundary layers. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34 (5), 538-553.

⁴ Cheng, Z., Li, L., Bahnfleth, W. P. (2016). Natural ventilation potential for gymnasia- Case study of ventilation and comfort in a multisport facility in northeastern United States. *Building and Environment*, 108,



الشكل 14.4. نموذج تقليدي لاستخدام القبة في الية التهوية الرأسية
(المصدر: الباحث)

و قد عرف بناء القباب العديد من التطويرات التقنية، والتي من أهمها القباب المتحركة "المنزلة" الأوتوماتيكية التي أدمجت لأول مرة بين عامي 1990 و 1992 في توسعة المسجد النبوي الشريف في المدينة المنورة بالمملكة العربية السعودية.

الشكل 15.4. يظهر القبة المتحركة لمسجد "أبي موسى الأشعري" وهي ذات شكل نصف كروي بالأبعاد (3 x 11 x 11 م)، أي بمساحة 121 م² و تمثل خمس 5/1 مساحة قاعة الصلاة. تتحرك على إطار مدفوع بمحركين كهربائيين جانبيين حيث تستغرق عملية الفتح 120 ثا. يبلغ سمك القبة 8 سم وتتكون من طبقتين من الزنك مفصولين بعازل "البوليستر" ما يمنحها خفة تسهل حركتها مع منحها عزلا ملائما.

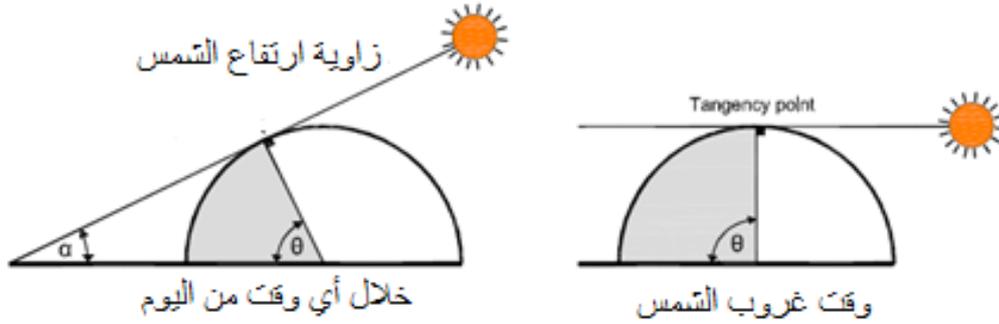


الشكل 15.4. صور القبة المتحركة لمسجد حي تقصبت (أ) الفتحة الكلية للقبة من الداخل (ب) الشكل الخارجي للقبة (ج) فتح القبة أثناء الليل (د) فتح القبة أثناء النهار. (المصدر: الباحث)

وقد أجريت عدة دراسات على التظليل الذي توفره القبة النصف الكروية، مثل البحث الذي أجراه الباحث "محيسن"¹ على قبة نصف دائرية بمسجد في قطاع غزة بفلسطين، وإستخدم منهج المتابعة الميدانية والمحاكاة الحاسوبية وأوجد علاقة بشكل رسوم بيانية تربط بين إختلاف زاوية إرتفاع أي منطقة في العالم وكذلك توقيت اليوم مع نسبة التظليل الذي يوفره هذا النوع من القباب وهي في حالة الدراسة الخاصة بهذا البحث تساوي 5% عند منتصف النهار، 16% عند الساعة 14.00 بعد الزوال و29% عند حدود الساعة 16.00. وهو ما يدعم الملاحظة الميدانية بإعتبار أن القبة في نموذج الدراسة تتحرك عند إنفتاحها بإتجاه الغرب، وهو ما يوفر حماية من دخول أشعة الشمس بأكبر قدر مما يسمح بفتحها بمقدار 10% أثناء صلاة الظهر و 25% أثناء صلاة العصر (في فصل الصيف) وتزيد هذه النسب في فصلي الربيع والخريف بحكم

¹ Muhaisen, A. S. (2011/1432H). Shading Potential of Semi-spherical Roof Dome. *J. King Saud Univ.*, 23, 31-40.

إنخفاض الشمس. الشكل 16.4. يبين كيفية حساب التظليل على الفتحة التي تتركها القبة، وكذلك تأثير التوقيت على مساحة المنطقة المظللة، والتي بدورها تؤثر على النسبة الممكنة لفتح القبة في كل صلاة. إتجاهات الرياح هي الجنوب والجنوب الغربي، مما يخلق ضغطاً عالياً (موجباً) من الرياح على القبة وضغطاً منخفضاً (سلبياً) عند الفتحة يساهم في تأثير السحب الحراري.



الشكل 16.4. رسم توضيحي للعلاقة بين التظليل على الفتحة التي تتركها القبة والتوقيت اليومي.

(المصدر: الباحث)

5.3.2. الأروقة المغطاة (المظللة)

يحيط بقاعة الصلاة من جوانبها الثلاثة أروقة مظللة كما هو الحال في "المسجد الأثري بتقريت"، تساعد في الحماية من أشعة الشمس المباشرة، ما يسمح بفتح النوافذ لزيادة فتحات دخول الهواء ضمن ما تقتضيه السيناريوهات. أنظر الشكل 17.4.



الشكل 17.4. صور لأحد الأروقة المظللة بمسجد أبي موسى الأشعري. (المصدر: الباحث)

6.3.2. المآذن

يشارك مسجد "عقبة بن نافع" ومسجد "موسى الخذري" وكذلك مسجدي "العزابة" و"تقرت" في وجود المئذنة في الركن الغربي لقاعة الصلاة، وهو موقع مئذنتي نموذج الدراسة الذي يحتوي مئذنة في كل ركن من الجدار الغربي لقاعة الصلاة. أما مساجد المنطقة الغربية (منطقة السوف وهي جزء من الإقليم) فهي ذات مئذنة واحدة.

كما ظهر التأثير المصري في عمارة المآذن بالمنطقة فنجد مآذن "المسجد العتيق لقربة بن عزوز" بغرب طولقة (القرن 11م) ذو قاعدة مربعة يعلوها شكل ثماني ثم شكل دائري، لكنه ينتهي برأس مربع على غير العادة¹.

أما في حالة موضوع الدراسة فنجد التأثير المصري المملوكي واضحا بشكل أكبر حيث تحاكي المآذن مئذنة مسجد بن عزوز في الجزء السفلي، لكن الجزء العلوي هو إمتداد للطراز المملوكي حيث يعلو الجزء الثنائي بوتق (أشبه بكرسي صغير على قوائم)، كما تعلوه قبة صغيرة تشبه العمامة كما قسمت المئذنة إلى عدة طوابق ينتهي كل طابق بشرفة تماما مثل ما ورد في وصف الطراز المملوكي².

إنطلاقا مما سبق يتضح أن كل عنصر معماري في نموذج الدراسة لديه ما يبرره في عمارة المساجد المحلية للمنطقة، كما أن بعض المعالجات الحديثة الخاصة تتماشى مع التوجه الحديث في تصميم المساجد بالحيط العمراني

مثل تعدد الطوابق³. وكذلك استخدام القبة المتحركة مثل المسجد النبوي في المدينة. حيث أن القبة في النموذج متحركة لتعويض "المصلى الخارجي" المنتشر خصوصا في مساجد وادي ريغ.

4.2. جانب العينات (المصلين)

لوحظ أن المصلين يتوافدون من مساكنهم في الحي وكذلك من المحلات التجارية القريبة، وهو ما يؤكد على أن العينات البحثية تقريبا هي ذاتها في مختلف أوقات الصلاة. كما أن سكان المنطقة معروفون بإرتداء لباس موحد تقريبا في فصلي الصيف والربيع، فبالنسبة لهم يعتبر اللباس إضافة لدوره المناخي بأنه تعبير عن الهوية، وهو ما يدعم دقة الدراسة.

¹ شهبي ع ا، المرجع السابق، ص 135.

² وزير، ي. (2004). العمارة الإسلامية والبيئة، ص 144. سلسلة عالم المعرفة. الكويت: مطابع السياسة.

³ البحث عن إثبات علمي

3. أدوات الدراسة (Study Tools) والسيناريوهات (Scenarios)

1.3. أدوات الدراسة والسيناريوهات

إرتكزت دراسة الراحة الحرارية للمصلين وتأثير حركة الهواء فيها بالمناخ الحار الجاف في هذه الأطروحة على مؤشر الإحساس الحراري للمستخدم باعتباره الأنسب لتقييم الراحة الحرارية داخل المبنى، لأنه يأخذ في الحسبان مختلف العوامل البيئية والذاتية، وتصنف على سلم من 7 درجات من (-3) الى (+3) وعليه فإن نتائجه تكون أكثر دقة ويمكن إستخدامها في إقتراح إجراءات للتبريد وكذلك إستخدام الطاقة لتغطية عجز الأداء الحراري للمبنى دون إسراف أو تسريف. ولفهم دقيق ودراسة أوضح إشتمل البحث على إستخدام المنهجين في نفس الوقت:

- المنهج العقلائي: وهو النموذج الحسابي المستخدم في التقييم عند غياب النموذج الذاتي.

- المنهج الذاتي: ويعرف أيضا بالنموذج الحقيقي لأنه يمثل الواقع.

1.1.3. المنهج العقلائي (ISO: 7730)

هو منهج حسابي طور في الأبحاث المخبرية (أنظر الفصل الثاني)، ويعتمد في مداخله على العوامل الفيزيائية (حرارة الهواء، الرطوبة النسبية، الحرارة الإشعاعية سرعة الهواء)، والذاتية (نوعية النشاط، نوعية اللباس).

1.1.1.3. طريقة القياس

القياسات أخذت بالنظر الى توجيهات "آشري" (ASHRAE 55/2013, ISO 7730)¹ وأعمال الباحث "كاليس" (Calis)² وغيره² بالإضافة الى أعمال الباحث "العجمي" (Al-ajmi)³ وذلك كما يلي:
- أخذت القياسات على ارتفاع 1.1م من مستوى الأرض وهي تلائم الوضعيات التي يؤديها المصلي.
- أخذت القياسات (حرارة الهواء، الرطوبة النسبية للهواء وحرارة الكرة السوداء) أسفل القبة (جهة الصفوف الأولى) وهي الصفوف المشغولة في كل السيناريوهات.

¹ International Standardization Organization, ISO7730, 2005. Moderate thermal environments, Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Geneva.

² Calis, G., Altı, B. Kuru, M. (2015). Thermal Comfort and occupant Satisfaction of a Mosque in a Hot and Humid Climate. *Computing in Civil Engineering*.

³ Al-ajmi, F. F. Loveday D. L. (2010). Indoor thermal conditions and thermal comfort in air-conditioned domestic buildings in the dry-desert climate of Kuwait. *Building and Environment*, 45, 704-710.

- في كل سيناريو تم تسجيل القياسات ثلاثة مرات (قبل إقامة الصلاة، خلال الصلاة وبعد الفراغ منها).
- في حين قمنا بقياس سرعة الهواء في ثلاثة مناطق (أسفل القبة وعلى جانبيها) أي أيها جهة الصفوف الأولى لأجل دقة أكثر في تصنيف تأثير سرعة الهواء.
- استخدمت وسائل القياس الجدارية أسفل القبة على ارتفاعين: 1.1م و5.8م وذلك لتتبع ظاهرة التدرج الحراري.

2.1.1.3. أدوات القياس

استعملت عدة أدوات لقياس العوامل البيئية الداخلية اللازمة باعتبارها مداخل للنموذج العقلاي (درجة حرارة الهواء، رطوبته النسبية، حرارة الكرة السوداء بالإضافة إلى سرعة الهواء) كما يظهره الشكل 18.4. كما استخدمت أداة قياس الظروف المناخية الخارجية (المناخ المصغر) من أجل فهم تأثير المناخ الخارجي على العوامل الداخلية في مختلف السيناريوهات وفق ما يظهره الشكل 19. و يظهر الجدول 4.4. مختلف الأدوات المستخدمة في القياس.



ب

أ

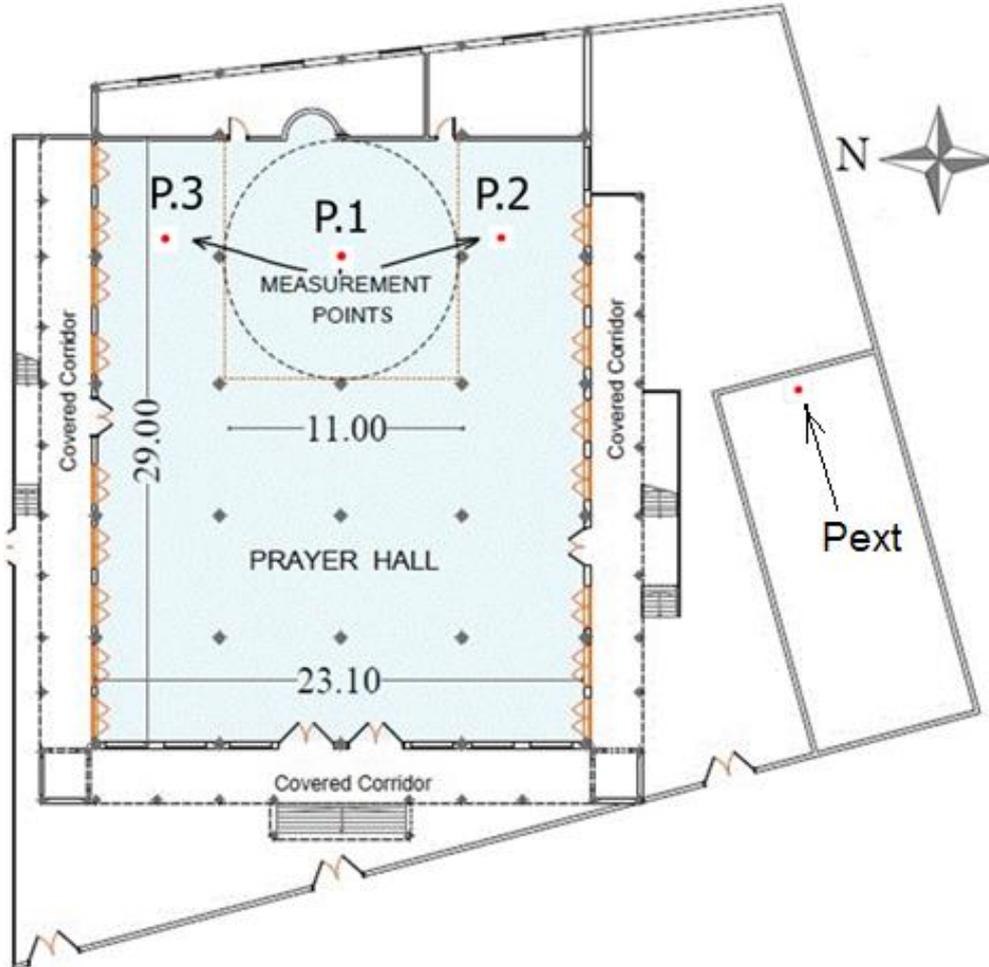
الشكل 18.4. صورة لأدوات القياس الداخلية في موقع الدراسة
أ. وسائل القياس أسفل القبة. / ب. تركيب وسائل القياس الجدارية. (المصدر: الباحث)



الشكل 19.4. صورة لأدوات قياس الظروف الخارجية في موقع الدراسة
(المصدر: الباحث)

الجدول 4.4. الأدوات المستخدمة في القياس

الآلة	الموقع في الشكل 20.4.	الاستخدام	مجال القياس	دقة القياس	الارتياب
Weather station PCE-FWS 20.	Pext	حرارة الهواء °م الرطوبة النسبية % سرعة الرياح م/ثا	-40 ... +65 °C 1... 99 % 0... 50 m/s	0.1° 1 % -	- - -
Thermo- anemom- eter PCE- WB 20SD	P1	حرارة الكرة السوداء °م حرارة الهواء °م الرطوبة النسبية %	0 ... +80 °C 0 ... +50 °C 5 ... 95%	0,1° 0,1° 0,1%	± 0,6 °C ± 0,8 °C ± 3 %
air speed .PCE-423.	P1 P2 P3	سرعة الهواء م/ثا	0,1 ... 25,0	0,01	± 5%
Recorder PCE-HT 71N	جدار القبلة	حرارة الهواء °م الرطوبة النسبية %	-40 ... +65 °C 1... 99 %	0.1 °C 0.1 %	± 1 °C ± 3%



الشكل 20.4. مخطط المستط لمسجد "أبي موسى الأشعري" ونقاط رفع القياس. (المصدر: الباحث)

3.1.1.3 طريقة الحساب

أستخدم في الحساب لغة برمجة حاسوبية (Basic language) بالنظر إلى نموذج "فانجر" (Fanger) ¹

بعد قياس العوامل البيئية (مداخل الحساب) المذكورة سابقاً، يتدرج الحساب وفق المراحل التالية:

- حساب الحرارة الفعالة:

$$T_o = A \times T_a + (1-A) \times T_r \quad (\text{التهوية الطبيعية}) \dots \dots \dots (01)$$

Where (حيث):

T_a = Air temperature (°م حرارة الهواء).

T_r = Radiant temperature (°م الحرارة الإشعاعية).

$$A = \begin{cases} 0.5 & \text{for } v_{air} < 0.2 \text{ m/s} \\ 0.6 & \text{for } 0.2 < v_{air} < 0.6 \text{ m/s} \\ 0.7 & \text{for } 0.6 < v_{air} < 1 \text{ m/s} \end{cases}$$

And (بالإضافة إلى):

$$T_r = \left[(T_g + 273)^4 + \frac{0.25 \times 10^8}{\epsilon_g} \times \left(\frac{|T_g \times T_a|}{D} \right)^{0.25} \times (T_g - T_a) \right]^{0.25} - 273$$

.....(02)

Where (حيث):

D = diameter of globe thermometer (قطر الكرة السوداء لآلة القياس °م).

$\epsilon_g = 0.95$.

T_g = temperature of globe thermometer (°م حرارة الكرة السوداء).

T_a = air temperature (°م حرارة الهواء).

V_a = air speed (سرعة الهواء م/ثا).

- حساب متوسط معدل التصويت (PMV):

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028) \times \{ (M - W) - 3.05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99(M - W) - P_a] - 0.42 \times [(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} M (5867 - P_a) - 0.0014M(34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} fcl \times [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - fclh_c(t_{cl} - t_a) \} \dots \dots \dots (3)$$

¹ ISO 7730:2005.

Where (حيث):

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - I_{cl}\{3.96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} \times h_c(t_{cl} - t_a)\} \dots \dots \dots (4)$$

$$h_c \begin{cases} 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} & \text{for } 2.38 \times |t_{cl} - t_a|^{0.25} > 12.1\sqrt{V_{ar}} \\ 12.1\sqrt{V_{ar}} & \text{for } 2.38 \times |t_{cl} - t_a|^{0.25} > 12.1\sqrt{V_{ar}} \end{cases}$$

$$f_{cl} \begin{cases} 1.00 + 1.290 \times I_{cl} & \text{for } I_{cl} \leq 0.078 \frac{m^2k}{w} \\ 1.05 + 0.645 \times I_{cl} & \text{for } I_{cl} \geq 0.078 \frac{m^2K}{w} \end{cases}$$

Where (حيث):

M : metabolic rate (معدل الأيض وات/م²).

W : effective mechanical power (النشاط الفعال وات/م²).

I_{cl} : clothing insulation, (م².k / w) (معامل عزل الملابس م². كيلفن/وات).

f_{cl} : clothing surface area factor (معامل مساحة الملابس).

T_a : air temperature (حرارة الهواء °م).

\bar{t}_r : mean radiant temperature (متوسط الحرارة الاشعاعية °م).

V_{ar} : air velocity (سرعة الهواء م/ثا).

P_a : water vapor partial pressure (الضغط الجزئي لبخار الماء. باسكال).

h_c : convection heat transfer coefficient, (W / m².k) (انتقال الحرارة بالحمل/وات / م². كيلفن).

t_{cl} : clothing surface temperature (درجة حرارة سطح اللباس °م).

- حساب نسبة عدم الرضا PPD:

$$PPD=100-95 \times \exp(-0.03353 \times PMV^4 - 0.2179 \times PMV^2) \dots \dots \dots (5)$$

عند القيمة "PMV= 0" يكون مؤشر عدم الرضا عند أقل قيمة 5%. كما يتضح أنه لما:

"0.5 < PMV < 0.5" فان "PPD < 10" وهي توافق منطقة الراحة الحرارية.

2.1.3. النموذج الذاتي، الإستهيبان (ISO: 10551)

- يهدف النموذج إلى تحقيق بيانات واقعية فيما يخص تقييم الإحساس بالراحة الحرارية (أنظر الفصل الثاني) لمعرفة تأثير سرعة الهواء في ذلك من خلال تعدد السيناريوهات. وقد أجري الإستهيبان وفق توجيهات "آشري" (ASHREA ISO: 10551)¹ وهي كآآتي:
- يتضمن الإستهيبان سؤال لحساب "PMV" كيف تشعر في هذه اللحظة" وتتم الإجابة من خلال إختيار أحد الخيارات السبعة من السلم (حار جدا)، (حار)، (حار قليلا)، (ملائم)، (بارد قليلا)، (بارد)، (بارد جدا). وهي تمثل المجال من (-3) الى (+3) على الترتيب.
 - يحتوي الإستهيبان على سؤال "هل أنت مرتاح في هذه البيئة الحرارية" وتكون الإجابة ب: "نعم" أو "لا".
 - يحوي الإستهيبان أيضا على معلومات شخصية (السن، العمر، الوزن والطول).
 - قبل توزيع الاستبيانات يترك الأشخاص لمدة 15 دقيقة لحصول التوازن الحراري بين الجسم ووسطه الحراري (مباشرة بعد الصلاة).
 - العينات عشوائية مع عدم التركيز على منطقة واحدة (قام ثلاثة أشخاص بتوزيع الإستهيبانات في وسط القاعة وعلى الجانبيين (المناطق التي يشغلها المصلون في كامل أوقات الصلاة).
 - العينات البحثية لا تقل عن 5% في كل السيناريوهات.
 - كل العينات من الذكور لأن الراحة الحرارية للمرأة أعلى بمقدار يتراوح بين 0.8°م و1°م مقارنة مع الرجال (مهما كان نوع التهوية)^{2,3}.

¹ International Standardization Organization, EN ISO 10551. Ergonomics of the thermal environment, Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales.

² American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc, ANSI/ASHRAE Standard 62.1e2013: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, Atlanta, USA, 2013.

³ Maykot, J. K., Rupp, R. F., Ghisi, E. (2018). A field study about gender and thermal comfort temperatures . in office buildings. *Energy and Buildings*, 178, 254-262.



الشكل 21.4. صور لبعض المصلين حاملين الإستهيبان
(المصدر: الباحث)

2.3. السيناريوهات

نظرا لأهمية تثبيت أكبر قدر من العوامل التي يمكن أن تؤثر على الحالة الذهنية لعينات الدراسة إرتأينا تثبيت كل العناصر المتعلقة بالمبنى من أجل دقة النتائج في حين تتم الاستفادة من مؤهلات المبنى (الأروقة الموفرة للظلال على الفتحات المتعددة اضافة إلى القبة المتحركة) لتغيير سيناريوهات سرعة الهواء بالتزامن مع إختيار أيام وأوقات الدراسة لتوفير تنوع في الظروف الحرارية الداخلية. وذلك ل: 19 سيناريو مختلف في الفترة الحارة من العام "2016/2015" (الربيع، الصيف، الخريف).

وقد أعمد في الإنتقاء والتحكم بالسيناريوهات على توجيهات "آشري" (ASHRAE)¹ الخاصة بإجراءات التحكم في التهوية الطبيعية داخل المباني بالإضافة الى توجيهات بعض الباحثين في المجال:

- فتح النوافذ يجب أن لا يقل عن 4 % من مساحة مسقط القاعة (قاعة الصلاة)، بإعتبار هذه النسبة بمثابة العتبة الدنيا لتحقيق تهوية طبيعية كافية.

- من أجل الحصول على مقدار تهوية أكبر يفضل التحكم في زيادة أبعاد الفتحات على خلق فتحات جديدة¹.

¹ American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc. (2013). ANSI/ASHRAE Standard 62.1e. *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. USA.

- تعتبر الفتحات في السقف ذات تأثير فارق فيما يخص دعم التهوية الطبيعية عن طريق السحب الحراري وقوة الرياح والتي يمكن التحكم بها من خلال التحكم في أبعادها². الجدول 5.4. يظهر مختلف السيناريوهات بتفاصيلها.

والتي تلخص كما يلي:

بداية الفترة الحارة من العام (فصل الربيع)

- يوم 30 مارس 2016: الصلوات اليومية الخمسة. (من السيناريو 1 إلى 5).

وقد تراوحت الحرارة الخارجية بين 21.7 و 37.1°م وسرعة الرياح بين 0.25 و 0.65 م/ثا. في حين لم تتعدى الرطوبة النسبية الخارجية 18 %.

في السيناريوهات من 1 إلى 4 تم فتح النوافذ الجانبية بمقدار 28 م² موزعة على الجهتين. في حين تراوح فتح القبة بين 10 % إلى 50 %. وذلك لتتنوع سرعات الهواء، مع غلق المكيفات أو أية وسيلة للتبريد. في السيناريو 5 تم فتح النوافذ الجانبية بمقدار 42 م² بالتزامن مع فتح القبة بمقدار 25 %.

تراوح عدد المصلين لكل سيناريو بين 184 و 414 في حين تم استرجاع من 11 الى 73 إستبيان لكل سيناريو أي بمجموع 240 إستبيان، وقد بلغت أقل نسبة مشاركة في الإستبيان 6 % وهي أعلى من العتبة المطلوبة 5 %.

- يوم 31 مارس 2016: شملت أربعة صلوات من الظهر إلى العشاء. (من السيناريو 6 إلى 9). وقد تراوحت الحرارة الخارجية بين 30 و 33.3°م وسرعة الرياح بين 0.4 و 0.6 م/ثا. في حين لم تتعدى الرطوبة النسبية الخارجية 28 %.

تم فتح النوافذ الجانبية بمقدار 28 م² موزعة على الجهتين. في حين تراوحت وضعيات القبة بين الغلق والفتح بمقدار 25 %، مع غلق المكيفات أو أية وسيلة للتبريد.

تراوح عدد المصلين في كل سيناريو بين 320 و 410 في حين تم استرجاع من 43 الى 81 إستبيان لكل سيناريو أي بمجموع 238 إستبيان، وقد بلغت أقل نسبة مشاركة في الاستبيان 10.7 %.

¹ Mavrogianni, A., Davies, M., Taylor, J., Chalabi, Z., Biddulph, P., Oikonomou, E., Das, P., Jones, B. (2014). The impact of occupancy patterns, occupant-controlled ventilation and shading on indoor overheating risk in domestic environments. *Building and Environment*, 78, 183-198.

² Cheng, Z., Li, L., Bahnfleth, W. P. (2016). "OP.cit".

الفترة شديدة الحر من العام (فصل الصيف)

يوم 21 جويلية 2015: الصلوات الخمسة بإستثناء المغرب. (من السيناريو 10 إلى 13).
تراوحت الحرارة الخارجية بين 32.0 و 46.8°م وسرعة الرياح بين 0.25 و 0.95 م/ثا. في حين لم تتعدى الرطوبة النسبية الخارجية 12 %.

تم فتح النوافذ الجانبية بمقدار 28 م² موزعة على الجهتين. في حين فتحت القبة بإختلاف السيناريوهات: (0، 25، 50، و 100 %)، مع غلق المكيفات أو أية وسيلة للتبريد.

تراوح عدد المصلين في كل سيناريو بين 120 و 368 في حين تم جمع من 52 الى 71 إستبيان لكل سيناريو أي بمجموع 230 إستبيان، وقد بلغت أقل نسبة مشاركة في الإستبيان 19.3 %.

يوم 22-23 جويلية 2015: صلوات المغرب، العشاء والصبح. (من السيناريو 14 الى 16).
تراوحت الحرارة الخارجية بين 30.4 و 39.5°م وسرعة الرياح بين 0.45 و 1.0 م/ثا. في حين لم تتعدى الرطوبة النسبية الخارجية 11 %.

في السيناريوهات 14 و 15 تم فتح النوافذ الجانبية بمقدار 56 م² موزعة على الجهتين. في حين فتحت القبة بنسبة 100 %، مع غلق المكيفات أو أية وسيلة للتبريد. في السيناريو 16 تم فتح النوافذ الجانبية بمقدار 42 م² بالتزامن مع فتح القبة بمقدار 50 %.

تراوح عدد المصلين بإختلاف السيناريوهات بين 110 و 260 في حين تم إسترجاع من 48 إلى 71 إستبيان لكل سيناريو أي بمجموع 144 إستبيان، و أقل نسبة مشاركة في الإستبيان 20.9 %.

نهاية الفترة الحارة من العام (فصل الخريف)

يوم 02 أكتوبر 2016: صلوات الظهر، العصر والعشاء. (من السيناريو 17 الى 19).
وقد تراوحت الحرارة الخارجية بين 21.0 و 22.5°م وسرعة الرياح بين 0.2 و 0.25 م/ثا. في حين لم تتعدى الرطوبة النسبية 23 %.

تم فتح النوافذ الجانبية بمقدار 28 م² موزعة على الجهتين. في حين لم تفتح القبة وتراوح عدد المصلين بإختلاف السيناريوهات بين 315 الى 397 في حين تم إسترجاع من 67 الى 82 إستبيان لكل سيناريو أي بمجموع 230 إستبيان. وقد بلغت أقل نسبة مشاركة في الإستبيان 16.9 %.

أعتمد في معالجة الإستبيان على "المتوسط الحسابي" (Arithmetic average) والذي يمثل "PMV" في حالة الدراسة وأنجز لذلك تطبيق إحصائي في برنامج "ميكروسوفت إكسال 2013". وفق توجيهات "آشري" (ASHRAE)¹.

¹ International Standardization Organization, EN ISO 10551. "OP.cit".

الجدول 5.4. الخصائص البيئية للسيناريوهات، وعدد العينات البحثية.

السيناريوهات	التاريخ	التوقيت	الحرارة الخارجية °م	الرياح م/ثا	الرطوبة النسبية %	مساحة النوافذ الجانبية المفتوحة م ²	انفتاح القبة	المصلين	الاستبيانات	نسبة العينة %
1		05:30	21.7	0.5	18		10%	184	11	6.0
2		13:10	34	0.8	10	28	10%	322	55	17
3	30 مارس 2016	16:30	35.6	0.25	10		50%	330	33	10
4		19:10	31.7	0.3	10		25%	414	73	17.6
5		20:30	29.4	0.65	11	42	25%	390	68	17.4
6		13:10	32.0	0.6	14		25%	380	81	21.3
7		16:30	33.3	0.6	18	28	25%	381	70	18.3
8	31 مارس 2016	19:10	31.2	0.4	28		0.0%	410	44	10.7
9		20:30	30.0	0.4	13		25%	320	43	13.4
10		04:30	32.0	0.5	12		25%	120	55	45.8
11		13:10	42.6	0.95	11	28	00%	138	52	37.7
12	21 جويلية 2015	16:50	46.8	0.25	10		50%	230	52	22.6
13		21:40	39.0	0.95	12		100%	368	71	19.3
14		20:00	39.5	0.45	10	56	100%	260	56	21.5
15	22-23 جويلية 2015	21:40	35.4	0.45	11		100%	230	48	20.9
16		04:30	30.4	1.0	26	42	50%	110	40	36.4
17		13:10	22.0	0.25	20		0.0%	315	81	25.7
18	02 أكتوبر 2016	16:30	22.5	0.25	20	28	0.0%	327	82	25.0
19		20:30	21.0	0.2	23		0.0%	397	67	16.9

خلاصة

إعتمد البحث في دراسة تأثير حركة الهواء على الراحة الحرارية داخل المساجد في المناخ الحار الجاف على مؤشر الإحساس الحراري للمستخدم بإعتباره أنسب المؤشرات داخل المبنى، فهو يأخذ في الحسبان مختلف العوامل البيئية والذاتية، وتصنف نتائجه على سلم من 7 درجات وهو بذلك الأكثر دقة. ولفهم دقيق ودراسة أوضح إشتملت الدراسة الميدانية على إستخدام المنهجين في نفس الوقت: العقلاني "ISO: 7730" والذاتي "ISO: 10551".

تطرق هذا الفصل إلى تقديم حالة الدراسة "مسجد أبي موسى الأشعري بمدينة وادي سوف" مع عرض مبررات الإختيار المرتبطة بالموقع الجغرافي والمناخي وعلاقة العناصر والشكل المعماري بالتراث المبني في إقليم الدراسة "الجنوب الشرقي الجزائري" وكذلك التفاصيل البنائية وقد إتضح أن مختلف العناصر المعمارية لحالة الدراسة لها ما يبررها في عمارة المساجد الأثرية بالمنطقة ذات المناخ الحار الجاف تماشيا مع أهداف البحث وهو ما يمنح الدراسة صفة الشمولية في المناخات المماثلة. خصوصا وأن تقنيات البناء المستخدمة هي نفسها المستخدمة في عمارة المساجد الحديثة.

أبرز الفصل كذلك بأن عينات الدراسة (المصلين) تمثل مجتمع الدراسة تمثيلا صادقا وهي العينات نفسها تقريبا باختلاف أوقات الصلاة وحتى الأيام. كما ترتدي العينات لباسا موحدًا تقريبا خلال كامل الفترة الحارة وهي عوامل تساهم في ثبات العديد من العوامل وبالتالي دقة أكبر في النتائج.

إن توفر المسجد على أروقة جانبية توفر الظلال على الفتحات المتعددة وكذلك وجود قبة متحركة بنظام سحب كهربائي منحنا القدرة على تغيير تدفق الهواء بشكل كبير داخل الحيز المعماري لقاء الصلاة وفق عدة سيناريوهات، الأمر الذي أعطى البحث بعدا مخبريا لعينات واقعية في بيئتها الحقيقية. كما أن إستخدام مبنى واحد للدراسة يساعد على تثبيت كل العوامل البنائية ذات التأثير على الإحساس الذهني وبالتالي دقة كبيرة في النتائج.

كل هذه المعطيات تسمح بإجراء دراسة ميدانية ومخبرية في الوقت ذاته فهي تجمع بين إيجابيات الدراسة الميدانية في واقعيتها وإيجابيات الدراسة المخبرية في تثبيت أكبر قدر ممكن من العوامل والتحكم في سيناريوهات حركة الهواء والحرارة بتغير الوقت والتحكم في الفتحات.

الفصل الخامس:

تحليل ومناقشة النتائج

الفصل الخامس: تحليل ومناقشة النتائج

مقدمة

بعد التطرق إلى حالة الدراسة وعرض مختلف ظروف السيناريوهات في الفصل السابق، والتي إتمدت على خلق 19 سيناريو مختلف من حيث الظروف الحرارية المتغيرة بتغير اليوم والوقت وكذلك كيفية فتح النوافذ والقبعة المتحركة وهي ممثلة في خمسة أيام منتقاة وموزعة على الفترات الثلاثة للمرحلة الحارة (الربيع وهو بداية الفترة الحارة، الصيف كأشد فترة حارة، والخريف بإعتباره بداية نهاية الفترة الحارة).

سيعرض هذا الفصل الظروف الحرارية الناتجة داخل القاعة ودراسة تأثيرها على مؤشرات الإحساس الحراري للمصلين في مساجد المناخ الحار الجاف، سواء الناتجة عن المنهج العقلاني أو الذاتي، والتركيز على تحليل الجزء الخاص بموضوع الدراسة "تأثير حركة الهواء" من أجل الوصول لنتائج عملية يمكن الإعتماد عليها مستقبلا في تقييم الراحة الحرارية ودعم الكفاءة الطاقوية. وقد إتمدنا في ذلك على ثلاثة مراحل للتحليل:

- نستهلها بتفسير الاختلاف بين عوامل البيئة الحرارية الداخلية لمختلف السيناريوهات بإعتبار هذه الدراسة الميدانية أشبه بالدراسة المخبرية. وذلك من أجل فهم الفوارق بين العوامل ذات التأثير في الإحساس الحراري لكل سيناريو.

- ثم عرض نتائج مؤشر الإحساس الحراري للمنهجين: العقلاني والذاتي لكل سيناريو وتحليل تأثير العوامل الحرارية في ذلك (الحرارة الفعالة وسرعة الهواء) للسيناريوهات مجتمعة لإيجاد علاقة بين الحرارة الفعالة والإحساس الحراري مع تتبع تأثير سرعة الهواء في ذلك.
- وصولا إلى مقارنة نتائج النموذجين لأجل فهم وتحديد مجالات الراحة الحرارية بدقة وكذلك البحث عن أية علاقة محتملة بين النموذجين. لأجل دعم مفهوم الراحة الحرارية بأية مستجدات فيما يخص التعامل مع مسألة الراحة الحرارية وكذلك إيجاد سند تقييم واقعي يدعم التصميم المستقبلي لمساجد المناخ الحار الجاف.

1. تحليل السيناريوهات

الظروف البيئية للوسط الحراري داخل قاعة الصلاة لكل سيناريو موضحة في الجدول 1.5. وهي تحوي القيمة المتوسطة ومعامل الإنحدار لكل عامل بيئي داخل قاعة الصلاة على حدى (درجة حرارة الهواء، درجة حرارة الكرة السوداء، سرعة الهواء، الرطوبة النسبية)، بالإضافة الى درجة الحرارة الفعالة بعد حسابها.

الجدول 1.5. نتائج الظروف الحرارية لقاعة الصلاة (مختلف السيناريوهات)

الحرارة الفعالة °م	الرطوبة النسبية %		سرعة الهواء م/ثا	حرارة الكرة السوداء °م		حرارة الهواء °م		السيناريوهات
	معامل الانحدار المعياري	المتوسط		معامل الانحدار المعياري	المتوسط	معامل الانحدار المعياري	المتوسط	
24.2	1.0	18	0.2	0.36	24.2	0.26	24.2	1
26.8	0.25	23.3	0.3	0.1	27.7	0.17	26.9	2
28.2	1.0	24.8	0.42	0.38	28.2	0.17	28.2	3
28.3	0.25	24.4	0.35	0.25	28.1	0.17	28.4	4
26.8	1.2	26.3	0.29	0.36	26.9	0.2	27.1	5
29.8	1.1	31.8	0.6	0.21	29.8	0.18	29.9	6
29.9	1.9	29	0.42	0.3	29.9	0.17	29.9	7
28.6	2.9	36	0.21	0.17	28.7	0.17	28.6	8
27.6	1.0	21	0.4	0.23	27.6	0.19	27.7	9
32.2	1.0	23.3	0.43	0.1	32.2	0.34	32.2	10
35.3	2.35	29.2	0.14	0.36	34.8	0.2	35.5	11
36.7	0.4	21.5	0.71	0.11	36.9	0.1	37.1	12
36.1	0.3	19.1	0.7	0.1	36.4	0.17	36.8	13
38.0	1.0	15.9	0.47	0.36	38.1	0.36	38.3	14
34.1	0.6	20	0.46	0.26	34.0	0.3	34.3	15
29.7	0.5	34.1	0.7	0.1	28.8	0.38	30.0	16
24.7	2.1	36	0.14	0.2	24.6	0.18	24.8	17
25.0	2.0	31	0.3	0.23	25.1	0.18	25.0	18
23.0	2.3	39	0.2	0.25	22.9	0.16	23.1	19

1.1. التدرج الحراري (Thermal stratification)

نظرا لأهمية حركة الهواء في التخلص من الإجهاد الحراري في المناطق الحارة وكذلك التخلص من تراكم الغبار، سعى العديد من الباحثين إلى دراسة أنماط التهوية وتأثيرها على سرعة الهواء ومن بينهم الباحث "كومار" (Kumar) وغيره.¹ الذي أقر بأن التهوية الطبيعية الأفقية عن طريق فتح الأبواب والنوافذ توفر سرعة هواء داخلي تتراوح بين 0.2 و 0.5 م/ثا، في حين أنه من أجل تجاوز السرعة 0.5 م/ثا لابد من استخدام التهوية الميكانيكية عن طريق المراوح.

إلا أن نتائج الظروف الحرارية للسيناريوهات (6، 12، 13، 16) قد تجاوزت هذه العتبة المقترحة لسرعة الهواء، حيث تراوحت السرعات بين 0.6 و 0.71 م/ثا.

ويبرر ذلك بفعل تأثير "المدخنة الحرارية" وهي في حالة الدراسة تجمع بين السحب الحراري وقوة الرياح، وهو تفسير يتوافق مع ما أشار إليه كود البناء الدولي² فيما يخص تأثير الدمج بين النظامين وفق ما يظهره الشكل 1.5. أ.

الباحث "ستوريدو" (Stauridou_) و"برانيس" (Prinos)³ أكدوا على أهمية المسافة العمودية بين مداخل الهواء من الفتحات السفلية ومخارجه على مستوى الفتحات العلوية، حيث تتناسب سرعة الهواء طرديا مع زيادة المسافة العمودية. ويفسر ذلك بالتدرج الحراري الذي يظهره الشكل 1.5. ب.

نظرا لظروف خاصة بموقع الدراسة (الباب المؤدي للطابق العلوي) تمكنا من تثبيت المسجلات الجدارية في يومين فقط: يوم 21 جويلية 2015 (من السيناريو 1 إلى 5) و 30 مارس 2016 (من السيناريو 11 إلى 13) وهي حالات كافية لدراسة ظاهرة التدرج الحراري لقاعة الصلاة بإعتبار أنها تطرقت ليوم شديد الحرارة ويوم معتدل نسبيا.

أشار الباحث "تشو" (Chu) وغيره.⁴ والباحث "رانبوني" (Ranboni)¹ إلى أن الجمع بين التهوية باستخدام كل فتحات السقف والجدران من شأنه توفير كفاءة أكثر في التهوية مقارنة باستخدام أحد النمطين.

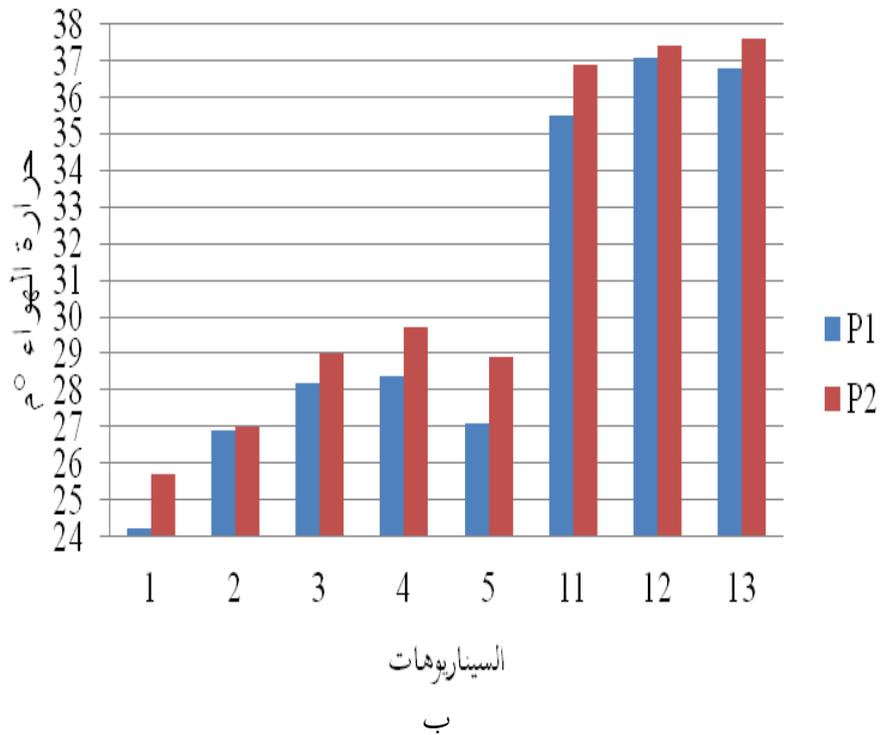
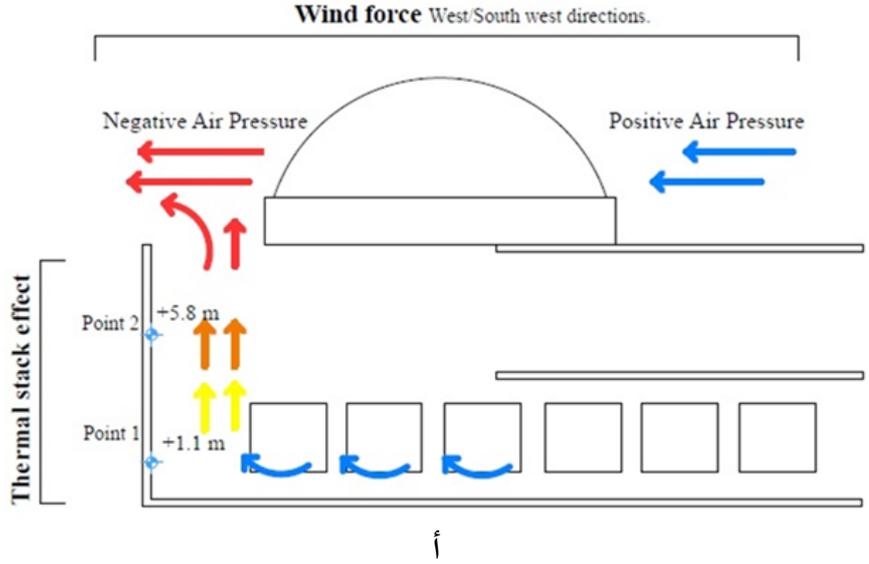
¹ Kumar, S. et al. (2016). An adaptive approach to define thermal comfort zones on psychometric chart for naturally ventilated buildings in composite climate of India. *Building and Environment*, 109, 135-153.

² International Building Code. (2006). *International Code Council*. ISBN 1-58001-251-5.

³ Tavridou, A. D. S., Prinos, P. E. (2013). Natural ventilation of buildings due to buoyancy assisted by wind: investigating cross ventilation with computational and laboratory simulation. *Building and Environment*, 66, 104-119.

⁴ Chu, C., Chiang, B. (2014). Wind-driven cross ventilation in long buildings, *Building and Environment*, 80, 150-158.

الشكل 1.5.ب. يظهر أن هناك فارق في درجة الحرارة ب بين المسجل الحراري الجداري العلوي والسفلي للمحور العمودي أسفل القبة، هذا الفارق الحراري يخلق تدرجا في إختلاف الضغط بين المستويات الرأسية وهو ما يدعم حركة الهواء العمودية بإتجاه الأعلى.



الشكل 1.5. أ. رسم توضيحي للآلية. (ب) التدرج الحراري العمودي. (المصدر: الباحث).

¹ Ramponi, R., Angelotti, A., Blocken, B. (2014) Energy saving potential of night ventilation: sensitivity to pressure coefficients for different European climates. *Applied Energy*, 123, 185-195.

2.1. تأثير أبعاد الفتحات الأفقية والرأسية

من أجل دراسة تأثير التغيير في أبعاد الفتحات الأفقية (النوافذ في الجانبيين بشكل متناظر) وكذلك أبعاد الفتحة الرأسية (إنفتاح القبة)، على سرعة الهواء الداخلية كأحد العوامل الأساسية الداخلة في تحديد سمات الوسط الحراري، سيعتمد التحليل على المقارنة بين السيناريوهات المتقاربة في العوامل المناخية الخارجية لتأكيد هذا التأثير.

فتح القبة بمقدار 25 % في السيناريو 10 يدعم تغلغل الهواء إلى وسط القاعة ليصل متوسط السرعة إلى 0.43 م/ثا في حين أنها لا تتجاوز 0.14 م/ثا في السيناريو 11 (القبة مغلقة)، بالرغم من أن سرعة الرياح في نفس الاتجاه وسرعتها أكبر، وهذا الفارق الكبير يفسر بأنه: " من الصعب إدخال الهواء بكفاءة في المساحات الداخلية الكبيرة باستخدام التهوية الأفقية بسبب فارق الضغط البسيط بين جانبي القاعة (النوافذ في الجهتين) مقارنة بمقاومة الهواء الكبيرة في المساحات الكبيرة"¹.

ملاحظة: عدم تجاوز سرعة الهواء المتوسطة لعتبة 0.35 م/ثا في السيناريو 4 يفسر بإنخفاض سرعة الرياح.

زيادة فتح القبة من 25 % في السيناريوهات (6، 7 و 9) إلى 50 % في السيناريو (12) رفع سرعة الهواء لتتجاوز 0.6 م/ثا وهو ما يتماشى مع بحث "بيرن" (Peren) وغيره.² الذي أكد من خلال الدراسات على أن زيادة فتحات المخارج مقارنة بالمداخل يزيد من سرعة الهواء.

وقد أكد السيناريو 5 هذه الظاهرة حيث أن الزيادة في مساحة النوافذ (المداخل) بنسبة 50 % يخفض من سرعة الهواء بمقدار تجاوز 0.2 م/ثا. أما عدم تأثير السيناريو 16 بهذه الزيادة فهو راجع لكونه مدعوم بزيادة ضغط الرياح.

تأثير فتح القبة لأكثر من 50 %، لم يغير من سرعات الهواء في الحالات المعنية وذلك راجع لكون ظاهرة السحب الحراري وصلت لذروتها وفق ظروف هذه الدراسة .

تجدر الإشارة إلى أن هناك إختلافات خفيفة في سرعات الهواء بين بعض السيناريوهات بالرغم من تشابه الظروف ويرجع سبب ذلك إلى فتح الباب الخارجي عند دخول المصلين المتأخرين.

¹ Tavridou, A. D. S., Prinos, P. E. (2013). "OP.cit".

² Peren, J. I., van Hooff, T., Leite, B .C. C., Blocken, B. (2016). CFD simulation of wind-driven upward cross ventilation and its enhancement in long buildings: impact of single-span versus double-span leeward saw tooth roof and opening ratio. *Building and Environment*, 96, 142-156.

الرطوبة النسبية الداخلية في كامل الدراسة سجلت قيما أقل من 29 % بإستثناء حالات التهوية الأفقية (الحالة 8، 11، 16، 17، 18 و19) التي تجاوزت هذه العتبة. وهذا راجع لتراكم الرطوبة الناتجة عن الريح الحراري الكامن من قبل المصلين والذي لم يصرف خارجا بسبب قلة التهوية مقارنة بالتهوية الرأسية في بقية السيناريوهات. **ملاحظة:** الرطوبة النسبية في السيناريو 7 تجاوزت هذه العتبة لتصل 31.8 % دون تفسير واضح.

2. نتائج النموذج العقلاني

لقد قسمت نتائج هذا النموذج إلى: مداخله المتعلقة بالعوامل الذاتية بإعتبارها جزء من النتائج خصوصا ما تعلق بنوعية اللباس ومتوسط مساحة الجلد وتتبع نوعية النشاط، بالإضافة إلى مخارج النموذج وهي بشكل قيم للمؤشرات "PMV" و "PPD" لتقييم الإحساس الحراري.

1.2. مداخل النموذج الذاتية (software inputs)

إدراج مداخل النموذج بشكل دقيق شرط أساسي في مصداقية النتائج. وقد إرتكزنا في ذلك على تتبع العوامل الذاتية الداخلة في النموذج للعينات ومقارنتها مع تصنيفات "آشري" (ASHRAE) إضافة لأبحاث سابقة.

1.1.2. النشاط

الصلاة في الإسلام من الناحية الفيزيائية هي تنفيذ لسلسلة من الوحدات تسمى "الركعة" وهي مجموعة من الحركات والأقوال، وتتضمن في مجملها الوقوف، الركوع، السجود و الجلوس. وتتكرر الصلاة خمس مرات في اليوم (الفجر: وقت الفجر، الظهر: بعد زوال الشمس مباشرة، العصر: بين زوال وغروب الشمس، المغرب: بعد غروب الشمس مباشرة، العشاء: مع بداية الليل)^{1، 2}. قال "زهير رباح قرامي" "إن الصلاة من ناحية نوع الحركات، هي عملية انقباض و إرتخاء العضلات تتم في هدوء وتنقل الجسم إلى أوضاع مختلفة، وهي من نوع المجهود المتوسط"³.

¹ Serageldin, I., Steele, J. (1996). *Architecture of the Contemporary Mosque*. Wiley.

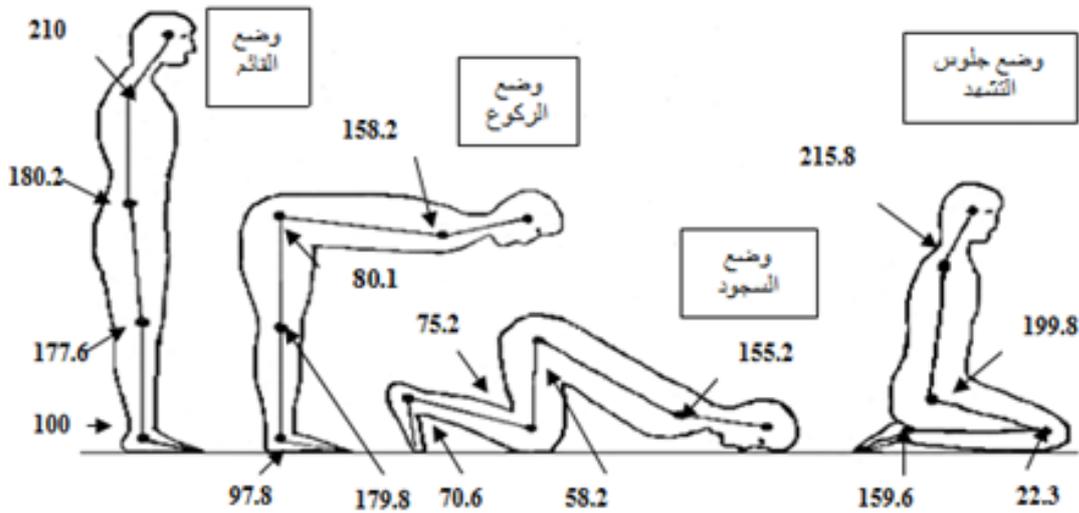
² Al-ajmi, F. F. Loveday D. L. (2010). Indoor thermal conditions and thermal comfort in air-conditioned domestic buildings in the dry-desert climate of Kuwait. *Building and Environment*, 45, 704-710.

قرامي، ز. ر. (1996). الاستشفاء بالصلاة، ص172. مكة المكرمة: هيئة الإعجاز العلمي في القرآن والسنة.³

"آشري" (ASHRAE Standard 55)¹ صنف النشاط الأيضي وفق نوع النشاط المبذول (انظر الفصل الثالث).

"كاليس" (Calis)² وغيره. صنفوا النشاط المبذول من قبل كل شخص في الصلاة في خانة معدل الأيض 1.2 ميتابوليزم، وهو يوافق 58 وات/م². وهي القيمة التي تبناها البحث من خلال التمعن في مختلف الحركات ومقارنتها مع تصنيف "آشري" (ASHRAE).

الشكل 2.5. يعطي فكرة عن مجموعة الحركات التي يقوم بها المصلي والتي تندرج في سياق النشاط ككل. في حين يبين الشكل 3.5. وضعية المصلين بالنسبة لبعضهم البعض (كثافة تصل الى 1.2 شخص/م² مساحة سطح الأرض).



الشكل 2.5. نوعية النشاط أثناء الصلاة (مختلف الوضعيات)

(المصدر: الأنصاري، م. م. ص 1999)

2.1.2. اللباس

من خلال الملاحظة الخارجية للعينات (الشكل 3.5). إضافة إلى نتائج الإستبيان المتعلق بنوعية اللباس (استمارة وزعت بشكل محدود) توصل البحث إلى أن السواد الأكبر من العينات موحد اللباس وهو أحد أسباب إختيار النموذج للدراسة. ومنوسط عزل الملابس في المحصلة "clo=0.57" وهي موزعة كما يلي: -لباس داخلي (سفلي) "clo=0.04".

¹ International Standardization Organization, ISO7730, 2005. *Moderate thermal environments, Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.* Geneva.

² Calis, G., Atil, B. Kuru, M. (2015). Thermal Comfort and occupant Satisfaction of a Mosque in a Hot and Humid Climate. *Computing in Civil Engineering*, pp. 139-147.

- لباس داخلي (علوي) "clo=0.09"
- سروال قطني "clo=0.2"
- قميص خفيف "clo=0.2"
- قميص خفيف يمتد لأسفل القدمين مع أكمام قصيرة "clo=0.24"



الشكل 3.5. نوعية اللباس والعلاقة بين المصلين أثناء أداء النشاط.

3.1.2. العوامل الفيزيولوجية

ما مجموعه 1082 إستانبيان تم إسترجاعه أثناء الدراسة الميدانية وقد تضمن الإستانبيان معلومات شخصية عن السن، الوزن والطول وذلك لتصنيف أكثر دقة للعينات وفق توجيهات "أشري" (ASHRAE) فيما يخص مساحة الجلد والتي تدخل في حساب المعدل الأيضي الإجمالي. مع ما تم الإشارة إليه في الفصل السابق بأن العينات تمثل 100% ذكور بإعتبار ما هو مريح للرجل مريح للمرأة فيما يخص إرتفاع الحرارة. وقد سجلت النتائج في الجدول 2.5. بما في ذلك معاملات الإنحدار المعياري حيث أن سن العينات تراوح بين 12 و84 سنة بمتوسط 34.42 سنة. والطول تراوح بين 1.35م و1.9م وذلك بمتوسط 1.70م. في حين أقل قيمة للوزن 53 كلغ وأعلاها 104 كلغ بمتوسط 75.6 كلغ.

والنتائج تبين أن هذا المتوسط يوافق متوسط الإنسان البالغ الذي تساوي مساحة سطح جلده 1.8م^2 وهي القيمة المعتمدة في النموذج الحسابي (العقلاني).

الجدول 2.5. نتائج المعلومات الشخصية للعينات.

السن (سنة)				الطول (م)				الوزن (كـلـغ)			
الأقل	الأعلى	المتوسط	الانحراف المعياري	الأقل	الأعلى	المتوسط	الانحراف المعياري	الأقل	الأعلى	المتوسط	الانحراف المعياري
12	84	34.42	18.5	134.7	189.0	169.7	12.1	53	104	75.6	17.9

2.2. نتائج مؤشرات الإحساس الحراري "PMV" . "PPD".

الجدول 3.5. يظهر نتائج تغير قيم معدل توقع التصويت "PMV" بتغير السيناريوهات كنتيجة لتغير عوامل البيئة الحرارية، ويتضح أنها تتأثر بشكل مباشر بتغير قيم الحرارة الفعالة (T_o) وكذلك تغير قيم سرعة الهواء (Vair)، في حين أن الرطوبة النسبية ذات تأثير خفيف خصوصا وأن الفوارق في الرطوبة غير كبيرة. لأجل تحليل دقيق لتأثير حركة الهواء على "PMV" قمنا بتصنيف سرعات الهواء المتوفرة في نتائج السيناريوهات وفق أربعة مستويات (0.2، 0.3، 0.4، و 0.7 م/ثا) مع إرفاق كل سرعة مع ما يقابلها من قيم للحرارة الفعالة باعتبارها المتغير الذي يؤثر على قيمة توقع نسبة التصويت "PMV". وهو ما يبينه الشكل 4.5. وقد إعتدنا في إختيار السيناريوهات على معيار تقارب قيمة السرعة بأن لا يتجاوز الفارق 0.05 م/ثا وأن لا تقل السيناريوهات لكل سرعة عن ثلاثة وكان ترتيب السيناريوهات كما يلي:

- 0.2 م/ثا (السيناريوهات: 1، 19 و 8).

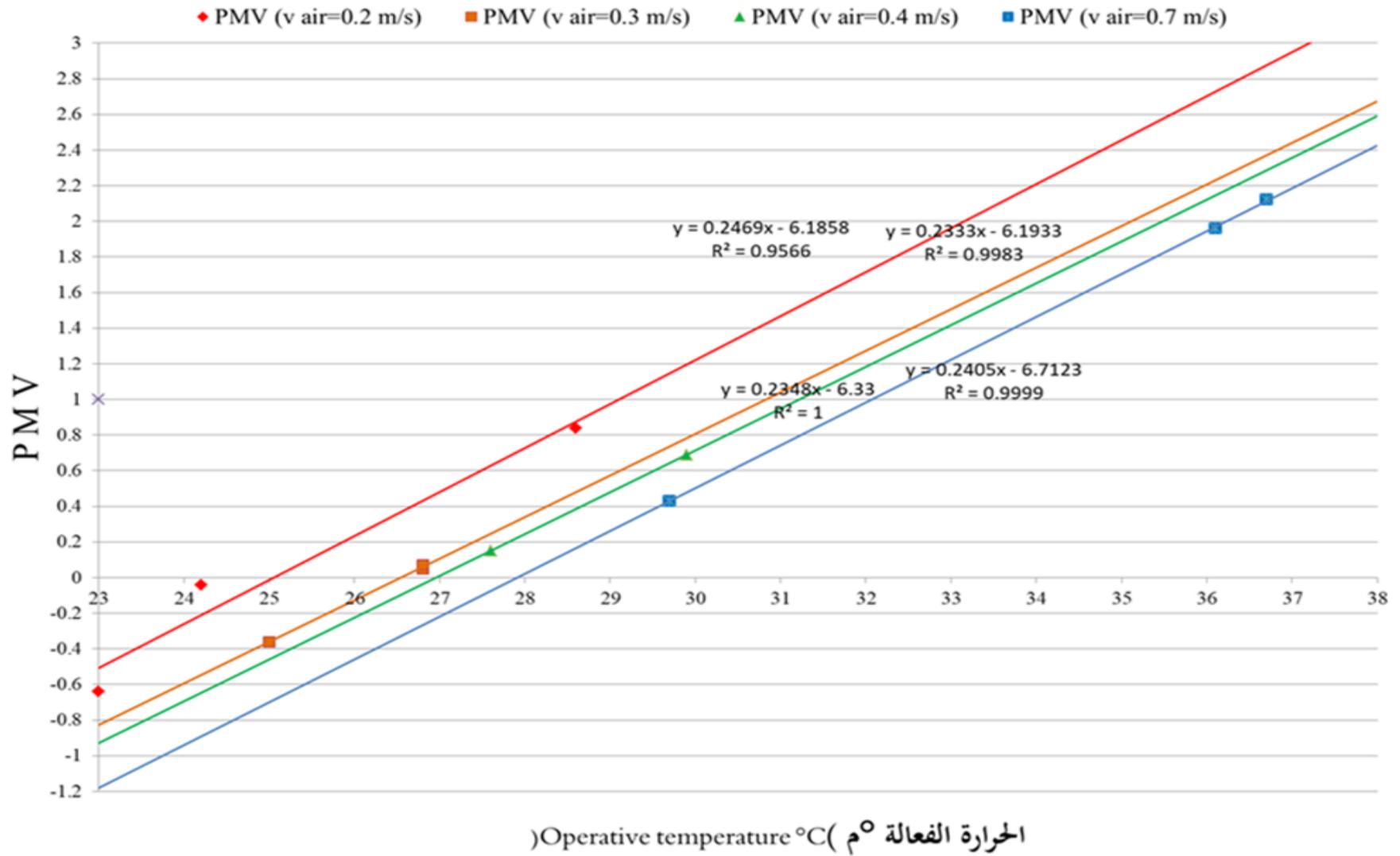
- 0.3 م/ثا (السيناريوهات: 2، 4 و 18).

- 0.4 م/ثا (السيناريوهات: 3، 7 و 10).

- 0.7 م/ثا (السيناريوهات: 12، 13 و 16).

الجدول 3.5. نتائج مؤشرات نموذج الإحساس العقلائي "PMV"، "PPD" لكل السيناريوهات.

PPD	PMV	الحرارة الفعالة °م.	الرطوبة النسبية %	سرعة الهواء م/ثا	السيناريوهات
9	-0.04	24.2	18	0.2	1
5	0.07	26.8	23.3	0.3	2
6	0.26	28.2	24.8	0.42	3
8	0.35	28.3	24.4	0.35	4
5	0.02	26.8	26.3	0.29	5
11	0.54	29.8	31.8	0.6	6
15	0.69	29.9	29	0.42	7
20	0.84	28.6	36	0.21	8
5.4	0.15	27.6	21	0.4	9
38	1.26	32.2	23.3	0.43	10
99	3.0	35.3	29.2	0.14	11
82	2.12	36.7	21.5	0.71	12
75	1.96	36.1	19.1	0.7	13
97	2.69	38.0	15.9	0.47	14
59	1.65	34.1	20	0.46	15
9	0.43	29.7	34.1	0.7	16
5	0.01	24.7	36	0.14	17
8	-0.36	25.0	31	0.3	18
14	-0.64	23.0	39	0.2	19



الشكل 4.5. تغير "PMV" بدلالة الحرارة الفعالة (To) لأربعة مستويات من سرعة الهواء. (المصدر: الباحث).

وقد أظهرت النتائج أن العلاقة بين توقع معدل التصويت "PMV" والحرارة الفعالة (T_o) عبارة عن معادلة خطية ثابتة الإنحدار برغم تغير سرعات الهواء ومقداره 0.2388 ± 0.01 نتيجة تأثير تغير الرطوبة النسبية).

مع وجود فارق مرجعي واضح غير ثابت يختلف باختلاف سرعة الهواء وفق ما يظهره الجدول 4.5. الذي يبين العلاقة بين "PMV" وسرعة الهواء للسيناريوهات المتشابهة في درجة الحرارة الفعالة وهي مرتبة بحسب سرعة الهواء كما يلي:

- 28°C م (+0.1). (السيناريو 4 و 3).

- 29.7°C م (+0.2). (السيناريو 7، 6 و 16).

الجدول 4.5. العلاقة بين "PMV" و "Vair"

أ. ($T_o = 28^\circ\text{C}$ م كمرجع).

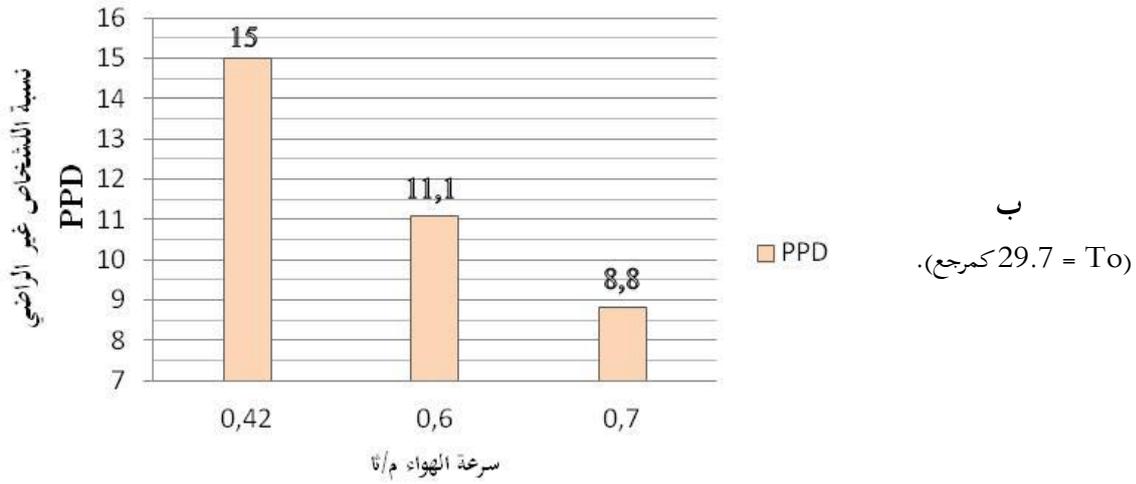
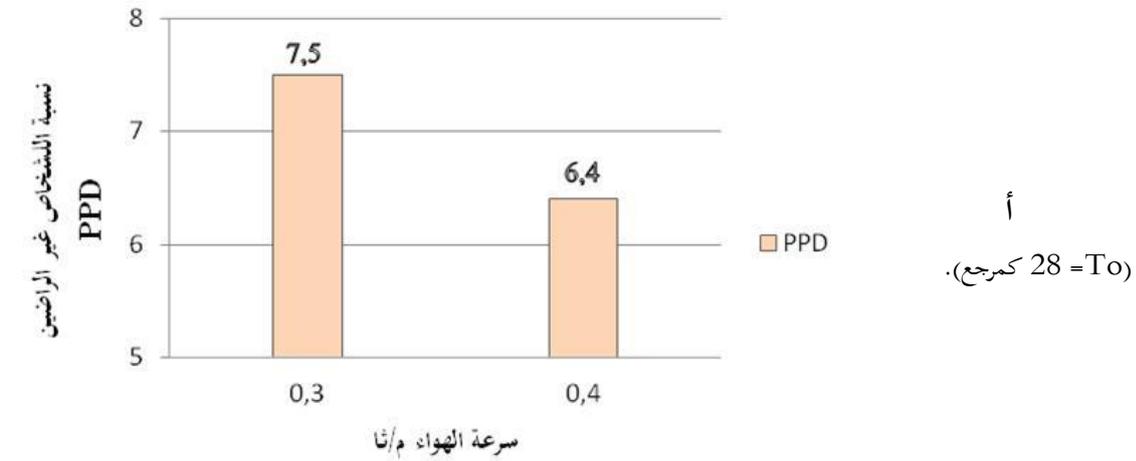
0.4	0.3	سرعة الهواء
28.2	28.3	الحرارة الفعالة
0.26	0.35	PMV

ب. ($T_o = 29.7^\circ\text{C}$ م كمرجع).

0.7	0.6	0.42	سرعة الهواء
29.7	29.8	29.9	الحرارة الفعالة
0.43	0.54	0.69	PMV

أما مؤشر نسبة الأشخاص غير الراضين لنفس المجالات السابقة فهي موضحة في الشكل 5.5. والذي يظهر إنخفاضاً واضحاً في نسبة عدم الرضا بالتزامن مع إرتفاع مستويات سرعة الهواء، ووصل هذا الإنخفاض إلى ما قيمته 1.1% بإرتفاع سرعة الهواء من 0.3 إلى 0.4 م/ثا عند الحرارة الفعالة 28°C . في حين إنخفضت نسبة عدم الرضا بمقدار 3.9% برفع سرعة الهواء من 0.42 إلى 6.0 م/ثا عند الحرارة الفعالة 29.7°C ، كما إنخفضت بنسبة 2.3% برفع سرعة الهواء من 0.6 إلى 0.7 م/ثا عند نفس الحرارة الفعالة السابقة.

ملاحظة: للأمانة العلمية لم نقم بإستخراج العلاقة بين المؤشرات وزيادة سرعة الهواء بإعتبار أن هنالك فارق في درجة الحرارة الفعالة بمقدار تراوح بين 0.1 و 0.2م° والذي من شأنه التأثير على دقة العلاقة.



الشكل 5.5. تغير نسبة عدم الرضا "PPD" بدلالة تغير سرعة الهواء (المصدر: الباحث).

3. تحليل نتائج النموذج الذاتي (مؤشري "AMV". "APD").

تضمن الإستبيان سؤالاً لحساب "PMV" "كيف تشعر في هذه اللحظة" وتمت الإجابة بإختيار أحد الخيارات السبعة من سلم ASHREA (حار جدا)، (حار)، (حار قليلاً)، (ملائم)، (بارد قليلاً)، (بارد)، (بارد جدا). وهي تمثل المجال من (-3) الى (+3) على الترتيب. سجلت نتائج التصويت على الإستبيان كما هو موضح في الشكل 6.5. لكل العينات.

الجدول 5.5. يقدم نتائج حساب مؤشرات الإحساس الحراري عن طريق الإستبيان وهي: نسبة التصويت الذاتية (الحالية) "AMV" ونسبة عدم الرضا الذاتية (الحالية) "PPD". وقد أعتمد في دراسة الإستبيان على توجيهات "اشري" (ASHREA ISO : 10551) المذكورة في الفصل الرابع ويمكن تلخيصها فيما يلي:

- نسبة الإستبيانات كافية مقارنة بالعدد الإجمالي للمصلين في كل سيناريو حيث تتجاوز 5% في كامل السيناريوهات.

- العينات ترتدي لباسا موحدًا بنسبة كبيرة بين مختلف الأفراد وهو نفسه من حيث خصائصه الحرارية خلال كامل الفترة الحارة (الربيع، الصيف والخريف).

- متوسط الطول والوزن يعبر عن الشخص المتوسط بمساحة جلد مقدارها 1.8 م².

- منحت العينات وقتًا تتجاوز 15 دقيقة وهو الوقت الكافي للتأقلم مع محيطها الحراري.

- كل العينات من الرجال وذلك بإعتبار المرأة تتحمل حرارة أعلى من الرجل بمقدار يتراوح

بين 0.8 و 1.0°م.

- لوحظ أن نسبة كبيرة من العينات هي نفسها في مختلف السيناريوهات بحكم أن رواد

المسجد في الغالب هم سكان الحي وأصحاب المحلات التجارية بحكم موقع المسجد في وسط عمراني.

- العوامل البنائية للمسجد هي ذاتها بمختلف عناصرها القادرة على التأثير في الحالة

الذهنية.

- الإنحدار المعياري للقيم "Ta" و "To" لم يتجاوز 0.4°م في كامل السيناريوهات وهو

دلالة على أن المصلين (العينات البحثية) كانوا في مجال حراري مستقر.

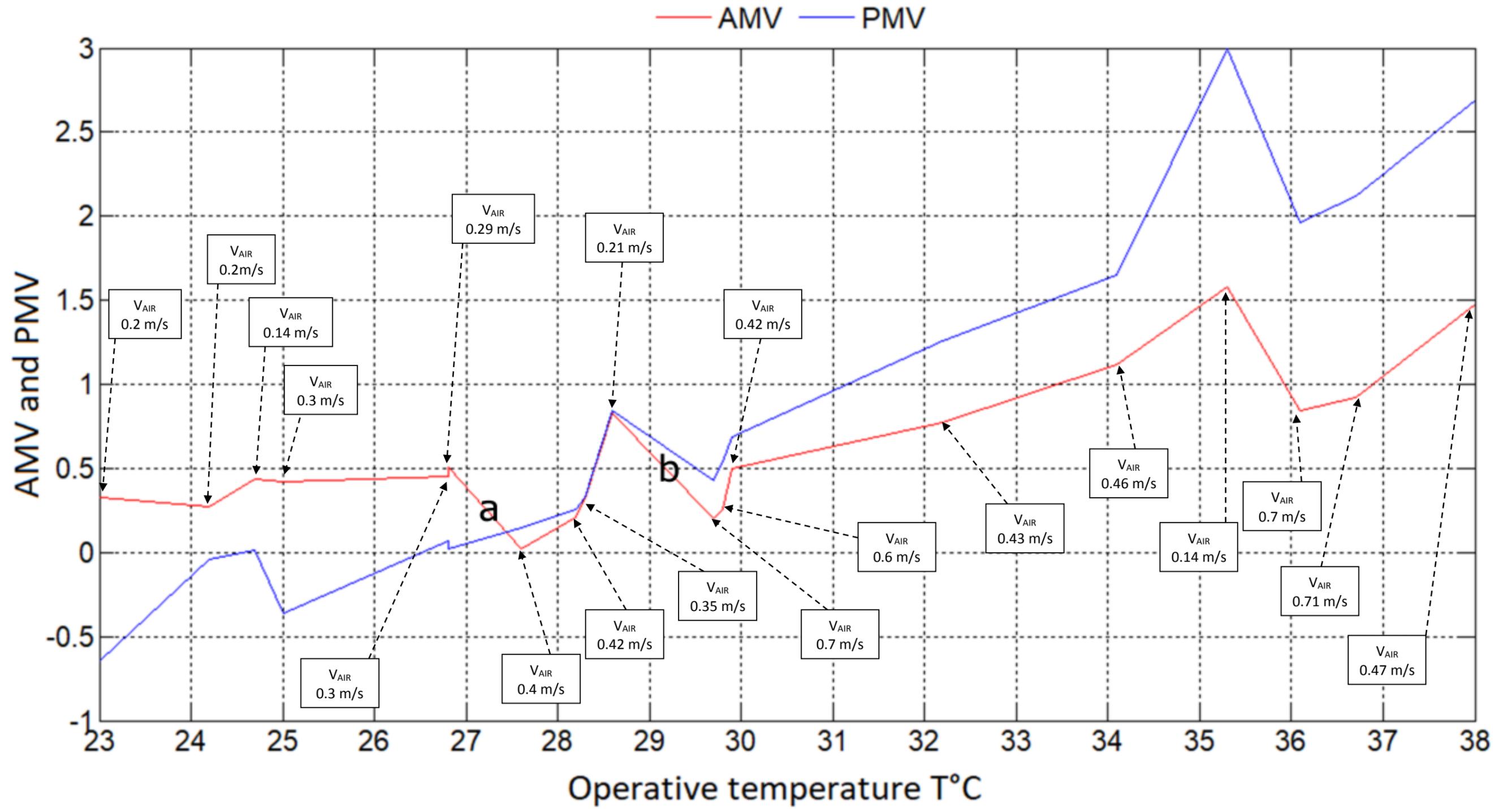
الجدول 5.5. نتائج مؤشرات نموذج الإحساس الذاتي "AMV"، "APD" لكل السيناريوهات.

APD	AMV	نسبة الاستبيانات %	عدد الاستبيانات	الحرارة الفعالة °م	الرطوبة النسبية %	سرعة الهواء م/ثا	السيناريوهات
6.5	0.27	6.0	11	24.2	18	0.2	1
9.2	0.45	17	55	26.8	23.3	0.3	2
5.9	0.21	10	33	28.2	24.8	0.42	3
7.1	0.32	17.6	73	28.3	24.4	0.35	4
10.4	0.51	17.4	68	26.8	26.3	0.29	5
5.0	0.26	21.3	81	29.8	31.8	0.6	6
6.4	0.5	18.3	70	29.9	29	0.42	7
10	0.83	10.7	44	28.6	36	0.21	8
5	0.02	13.4	43	27.6	21	0.4	9
17.5	0.77	45.8	55	32.2	23.3	0.43	10
41.8	1.58	37.7	52	35.3	29.2	0.14	11
22.8	0.92	22.6	52	36.7	21.5	0.71	12
19.9	0.84	19.3	71	36.1	19.1	0.7	13
49.8	1.48	21.5	56	38.0	15.9	0.47	14
31.4	1.12	20.9	48	34.1	20	0.46	15
5.8	0.2	36.4	40	29.7	34.1	0.7	16
9.0	0.44	25.7	81	24.7	36	0.14	17
8.5	0.42	25.0	82	25.0	31	0.3	18
7.2	0.33	16.9	67	23.0	39	0.2	19

باعتبار الإحساس الحراري الواقعي مرتبط مباشرة بشعور الشخص فإنه من الدقة معالجة مسألة التأثير بحركة الهواء في شكل مجال وليست قيم محددة كما سبق في النموذج العقلاني، ولفهم تأثير سرعة الهواء على الإحساس الحراري الذاتي قمنا في تحليل مؤشرات الدراسة الذاتية بالإعتماد على الدراسة المقارنة مع مؤشرات النموذج العقلاني:

1.3. تأثير حركة الهواء على الراحة الحرارية

الشكل 7.5. يظهر تغير قيم مؤشر توقع نسبة التصويت للمنهج العقلاني "PMV" الناتج عن القياس الميداني والحساب بإستخدام "ASHREA ISO : 7730" وتغير مؤشر نسبة التصويت للمنهج الذاتي الناتج عن الإستبيان الميداني بإتباع توجيهات "ASHREA ISO: 10551" وذلك بدلالة الحرارة الفعالة (T_o) التي رتبت ترتيباً تصاعدياً من أقل قيمة إلى أعلى قيمة لكل السيناريوهات. مع إرفاق لكل حالة سرعة الهواء المرافقة لها من أجل تتبع تأثير سرعة الهواء على العلاقة بين كل من المؤشرين مع الحرارة الفعالة.



لشكل 7.5. تغير قيم "PMV" و"AMV" بدلالة "To" للترتبة تصاعديا. (المصدر: الباحث).

قراءة وتحليل المنحنيات البيانية:

1- عند الحرارة الفعالة 23°C مع سرعة الهواء 0.2 م/ثا: يلاحظ أن "PMV=-0.64" وهي تعبر عن توقع النموذج العقلاي بأن يشعر شاغلوا الحيز ببعض البرودة. في حين كانت القيمة الفعلية للإحساس الحراري عند نفس الظروف "AMV=0.33" وهي تعبر عن إحساس عينات الدراسة بالراحة الحرارية.

2- إرتفاع الحرارة الفعالة من 23 إلى 24.2°C مع نفس سرعة الهواء السابقة 0.2 م/ثا: عملت على رفع قيمة " PMV " من (-0.64) إلى (-0.04) كتعبير عن توقع النموذج العقلاي لتأثر شاغلي الحيز بشكل كبير بارتفاع الحرارة. في حين انخفضت قيمة "AMV" من 0.33 إلى 0.27 ويفسر ذلك بإنخفاض قيمة الرطوبة النسبية من 36 إلى 18 % (حيث تزداد آلية التبريد الذاتي بتبخر العرق كلما زادت درجة الجفاف).

3- إرتفاع الحرارة من 24.2 إلى 24.7°C و انخفاض سرعة الهواء من 0.2 إلى 0.14 م/ثا: عمل على رفع قيم " AMV " و " PMV " معا مع تأثير أكبر لهذا الأخير " PMV = 0.07 " .

4- إرتفاع الحرارة من 24.7 إلى 25°C مع زيادة سرعة الهواء من 0.14 إلى 0.3 م/ثا: عمل على خفض قيمة " PMV " من (0.01) الى (-0.36) بفارق (0.35) في حين لم يتجاوز هذا الفارق في حالة " AMV " مقدار 0.2 من القيمة 0.44 إلى 0.44 . وهو تعبير عن تأثير زيادة سرعة الهواء في خفض قيم مؤشرات الاحساس الحراري مع أفضلية للمنهج العقلاي في هذه الحالة (لم تتجاوز سرعة الهواء 0.3 م/ثا).

5- رفع الحرارة من 25 إلى 26.8°C مع نفس سرعة الهواء: عمل على رفع قيمة "PMV" من (-0.36) إلى 0.07 وذلك بمقدار $+0.42$ في حين عرف إرتفاع مؤشر "AMV" قيمة مهملة تقريبا 0.03 ويعود سبب ذلك الى كون العينات يشعرون بنوع من الحر في الأساس.

6- الإبقاء على قيمة الحرارة 26.8°C مع تغيير بسيط في سرعة الهواء من 0.3 إلى 0.29 م/ثا: أحدث تغييرا بسيطا ومتماثلا في قيم المؤشرات، 0.05 بالنسبة ل: "PMV" و 0.06 بالنسبة إلى "AMV" .

- 7- إرتفاع الحرارة من 26.8 الى 27.6°م مع زيادة سرعة الهواء من 0.29 الى 0.4 م/ثا: رفع قيمة "PMV" من 0.02 الى 0.15 متأثراً بارتفاع الحرارة في حين إنخفضت قيمة "AMV" (بشكل مفاجئ) من 0.51 إلى 0.02 متأثرة بإرتفاع سرعة الهواء إلى 0.4 م/ثا.
- 8- إرتفاع الحرارة من 27.6 الى 28.2°م مع زيادة خفيفة في سرعة الهواء من 0.4 إلى 0.42 م/ثا: عمل على استمرار ارتفاع قيم "PMV" بنفس الميل السابق. مع عودة "AMV" للإرتفاع من 0.02 إلى 0.21.
- 9- إرتفاع الحرارة من 28.2 الى 28.3°م مع إنخفاض في سرعة الهواء من 0.4 إلى 0.35 م/ثا: عمل على إستمرار إرتفاع "PMV" بنفس الميل السابق. في حين زاد ميل إرتفاع "AMV" متأثراً بإنخفاض سرعة الهواء ليسجل القيمة 0.32 إلى ما دون 0.4 م/ثا.
- 10- إرتفاع الحرارة من 28.3 إلى 28.6°م مع إنخفاض سرعة الهواء من 0.35 إلى 0.21 م/ثا: عمل على تطابق البيانيين لكلا المؤشرين وإرتفاعهما إلى القيم 0.84 بالنسبة لـ: "PMV" و 0.83 بالنسبة لـ: "AMV".
- 11- إرتفاع الحرارة من 28.6 إلى 29.7°م مع زيادة سرعة الهواء من 0.21 إلى 0.7 م/ثا: عمل على خفض قيمة "PMV" من 0.84 الى 0.43 متأثراً بزيادة سرعة الهواء. في حين كانت قيم "AMV" الأكثر تأثراً من 0.83 إلى 0.2 وهو إنخفاض مشابه في ميله للحالة 7.
- 12- إرتفاع الحرارة من 29.7 الى 29.8 مع انخفاض سرعة الهواء من 0.7 إلى 0.6 م/ثا: رفع قيم "PMV" من 0.43 إلى 0.53 وهو إرتفاع يتجاوز إرتفاع قيم "AMV" من 0.2 إلى 0.26.
- 13- إرتفاع الحرارة من 29.8 إلى 29.9 مع إنخفاض سرعة الهواء من 0.6 إلى 0.42 م/ثا: عمل على رفع قيمة "PMV" من 0.54 إلى 0.69 و "AMV" من 0.26 إلى 0.5.
- 14- إرتفاع الحرارة من 29.9 إلى 32.2°م مع زيادة طفيفة في سرعة الهواء من 0.42 إلى 0.43 م/ثا: أدى إلى رفع قيمة "PMV" من 0.69 إلى 1.26 وذلك بميل يتجاوز زيادة "AMV" الذي إرتفع من 0.5 إلى 0.77.
- 15- إرتفاع الحرارة من 32.2 إلى 34.1°م مع زيادة سرعة الهواء من 0.43 إلى 0.46 م/ثا: أدى إلى مواصلة إرتفاع المؤشرين بنفس الميل تقريبا لتصل قيمة "PMV" إلى 1.65 وسجل "AMV" القيمة 1.12.

- 16- إرتفاع الحرارة من 34.1 إلى 35.3°م مع زيادة سرعة الهواء من 46.0 إلى 0.14 م/ثا: عمل على زيادة ميل إرتفاع المؤشرين خصوصا "PMV" الذي سجل القيمة 3 وسجل "AMV" القيمة 1.58.
- 17- إرتفاع الحرارة من 35.3 إلى 36.1°م مع زيادة سرعة الهواء من 14.0 إلى 0.7 م/ثا: عمل على خفض قيم المؤشرين معا متأثرين بالارتفاع الكبير لسرعة الهواء حيث سجلت القيم 1.96 و0.84 للمؤشرين "PMV" وعلى الترتيب.
- 18- إرتفاع الحرارة من 36.1 إلى 36.7°م مع زيادة طفيفة في سرعة الهواء من 0.7 إلى 0.71 م/ثا: رفع قيم المؤشرين مع ميل أكبر لـ: "PMV" وسجلت القيم 2.12 و0.92 للمؤشرين "PMV" و "AMV" على الترتيب.
- 19- إرتفاع الحرارة من 36.7 إلى 38°م مع إنخفاض سرعة الهواء من 0.71 إلى 47.0 م/ثا: عمل على رفع قيم المؤشرين بنفس الميل لتصل قيمة "PMV" إلى 2.69 وقيمة "AMV" إلى 1.48.

إيجاد عتبة سرعة الهواء المؤثرة:

يلاحظ أن تأثير سرعة الهواء على نسبة التصويت الذاتية "AMV" أكبر من تأثيرها على "PMV" وهو ما يوافق أبحاث "موداست" (Modeste) وغيره.¹ الذين أجروا دراسة على أقسام تعليمية في الكاميرون ذات تهوية طبيعية، وكذلك أعمال الباحثين "كومار" (kumar) وغيره.² حول المباني ذات التهوية الطبيعية في المناخ الهندي المركب.

إن زيادة سرعة الهواء من 0.29 إلى 0.4 م/ثا، في المجال (a) يؤدي إلى انخفاض لـ: "AMV" بإنحدار يساوي (-0.61) بالرغم من زيادة الحرارة الفعالة T_0 وهذا الإنحدار هو تقريبا نفس الإنحدار (-0.58) حينما تزيد سرعة الهواء من 0.21 إلى 0.7 في المجال (B). هذا يؤكد على أن سرعة الهواء (Vair) = 0,4 م/ثا هي عتبة لتصنيف تأثير سرعات الهواء على الإحساس الحراري الذاتي. وعليه ستعتمد دراسة تأثير سرعة الهواء على الراحة الحرارية في الجزء المتبقي من الدراسة على مجالين لسرعات الهواء "Vair < 0.4 m/s" و "Vair ≥ 0.4 m/s".

¹ Modeste, K. N., Tchinda, R., Ricciardi, P. (2014). Thermal comfort and air movement preference in some classrooms in Cameroun. *Revue des Energies Renouvelables*, 17 (2), 263-278.

² Kumar, S., Singh, M. K., Loftness, V., Mathur, J., Mathur, S. (2016). Thermal comfort assessment and characteristics of occupant's behavior in naturally ventilated buildings in composite climate of India, *Energy Sustain*, 33, 108-121.

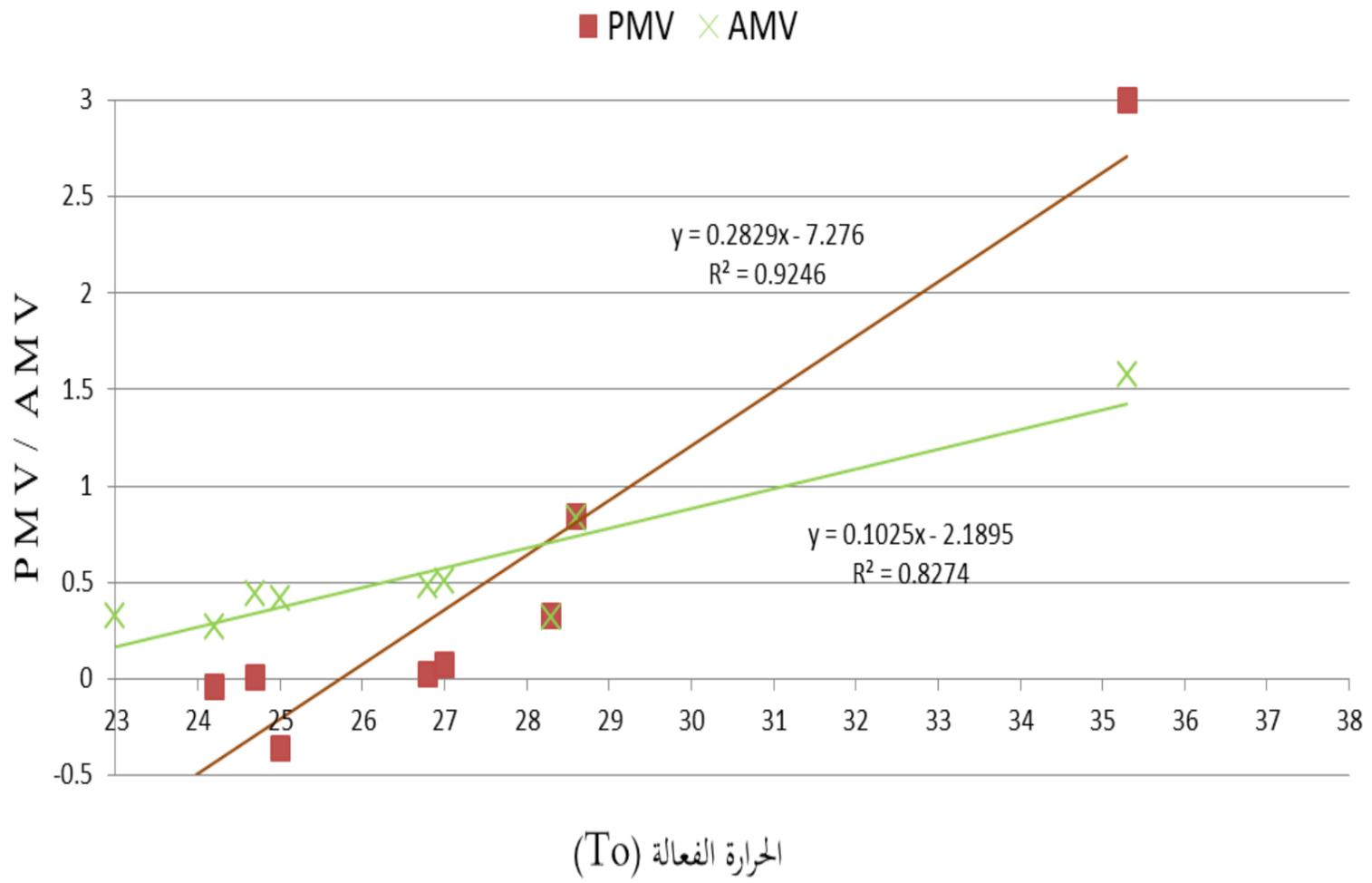
2.3. المقارنة بين PMV و AMV وفق مجالي سرعة الهواء المستخرجة

الشكل 8.5. يظهر تغير قيم مؤشر توقع نسبة التصويت "PMV" ومؤشر نسبة التصويت الذاتية "AMV" بدلالة "To" بالنظر إلى المجالين " $V_{air} < 0.4 \text{ m/s}$ " و " $V_{air} \geq 0.4 \text{ m/s}$ ". حيث إعتدنا في هذا التصنيف على نتائج التحليل السابق الخاص بتتبع عتبة سرعة الهواء ذات التأثير الفارق وهي " $V_{air} = 0.4 \text{ m/s}$ ".

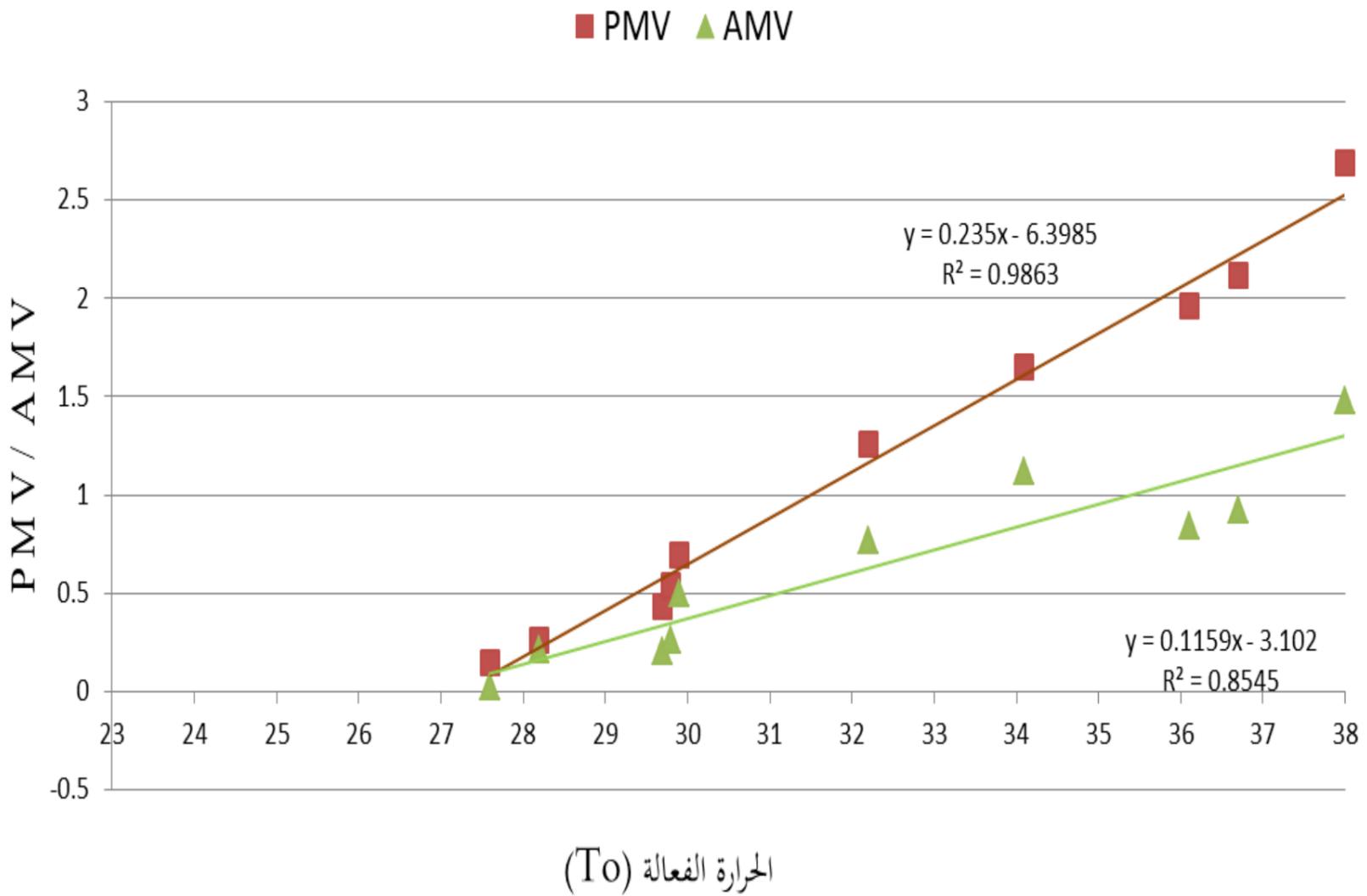
توزعت السيناريوهات بحسب مجال سرعة الهواء كما يلي:

- " $V_{air} < 0.4 \text{ m/s}$ ": السيناريوهات (1، 2، 4، 5، 8، 11، 17، 18 و19).

- " $V_{air} \geq 0.4 \text{ m/s}$ ": السيناريوهات (3، 7، 9، 10، 12، 13، 14 و16).



أ. "Vair < 0.4 m/s "



ب. "Vair \geq 0.4 m/s "

الشكل 8.5. الدالة الخطية لتغير "PMV" و "AMV" بدلالة الحرارة الفعالة "To" وفق مجلين لسرعة الهواء

أ. "Vair < 0.4 m/s " ب. "Vair \geq 0.4 m/s "

الجزء (a): من الشكل 8.5. يبين:

"PMV < AMV" مع فارق يتراوح بين 0.4 و 0.8 عند مجال الراحة "0.5 < PMV < 0.5" وهو ما يعني أن السكان المحليين أثناء أدائهم لنشاط الصلاة حساسون لدرجات الحرارة بشكل أكبر من توقع المنهج العقلاني الحسابي بالرغم من أن المعلوم هو قدرة سكان المناطق الحارة على الشعور بالراحة في أوساط أحر من غيرهم وهو ما يؤكد على أن نموذج "ASHREA, ISO: 7730". غير ملائم لتقييم الإحساس الحراري للمصلين المسلمين في المناخ الحار الجاف عند سرعات الهواء الأقل من 0.4 م/ثا.

حيث أنه من الضروري توسيع مفهوم الراحة الحرارية بإضافة خصائص بعض الأنشطة الخاصة التي تجرى في ظروف كثافة عالية مثل الصلاة التي تبلغ كثافة النشاط فيها 1.2 شخص/م² بالإضافة الى محدودية الحركة، حيث يصاحب ذلك شعور بالضيق يحتاج إلى حركة الهواء.

- بعد القيمة "To = 28.2°م" تصبح "PMV > AMV" أي أن السكان المحليين في نشاط الصلاة أقل حساسية من توقع النموذج العقلاني الحسابي وهذا ناتج عن قدرة سكان المناطق الحارة على تحمل درجات الحرارة العالية، لكنها تبقى خارج نطاق الراحة الحرارية حيث: "AMV > 0.77". وهي بذلك أكبر من 0.5 والتي تمثل الحد الأعلى الموافق لدرجة الحرارة المريحة.

الجزء (ب): من الشكل 8.5. يبرز أن مجال الراحة الحرارية ل: "PMV" محتوى داخل

مجال الراحة الحرارية ل: "AMV" (في المجال $-0.5 < PMV < 0.5$) وهو يعبر عن كون السكان المحليين في نشاط الصلاة يحسون بالراحة الحرارية في مجال حراري أوسع من توقع مؤشر المنهج العقلاني الحسابي عندما تتجاوز سرعة الهواء 0.4 م/ثا. وهو ما يؤكد على ملائمة نموذج "ASHREA .ISO: 7730" لتقييم الإحساس الحراري للمصلين في مساجد المناخ الحار الجاف عند سرعات الهواء "Vair ≥ 0.4 m/s". مع وجود هامش من المبالغة بحيث يؤثر على زيادة الإستهلاك الطاقوي مقارنة باستخدام نتائج النموذج الذاتي. وهو يشير أيضا إلى فارق القيمة العليا للراحة الحرارية "ΔTo = 3.67°م" الأمر الذي يوافق نتائج العديد من الأبحاث التي تؤكد على أن سكان المناطق الحارة يفضلون سرعات هواء أكبر ليتمكنوا من الشعور بالراحة في درجات حرارة عالية نسبيا^{1,2,3}.

¹ Ogbonna, A. C., Harris, D. J. (2008). Thermal Comfort in Sub-Sahara Africa: Field Study Report in Jos-Nigeria. *Applied Energy*, 85 (1), 1-11.

² Kumar, S., Singh, M. K., Loftness, V., Mathur, J., Mathur, S. (2016). "OP.cit".

³ Kumar, S. et al. (2016). "OP.cit".

3.3 الراحة الحرارية للتأقلم (Adaptive thermal comfort)

إعتمادا على تطبيق المنحنيات البيانية في برنامج "MS-EXCEL 2013" قمنا بإستنتاج معادلات الراحة الحرارية الناتجة والتي تكافئ المعادلات الخطية لتغير قيم "AMV" بدلالة الحرارة الفعالة (T_o) وذلك وفق مجالي سرعة الهواء كما هو موضح في الشكل 8.5. والمعادلات الخطية للراحة الحرارية هي كما يلي :

$$AMV = \begin{cases} 0.1025T_o - 2.1895 & (R^2 = 0.8274) \text{ for } v_{air} < 0.4 \text{ m/s} & (1) \\ 0.1159T_o - 3.102 & (R^2 = 0.8545) \text{ for } v_{air} \geq 0.4 \text{ m/s} & (2) \end{cases}$$

حيث:

AMV: Actual mean vote (معدل التصويت الحقيقي).

T_o : Operative temperature (الحرارة الفعالة).

V_{air} : relative air velocity, (m / s) (متوسط سرعة الهواء).

R^2 : correlation between AMV and T_o (معامل الترابط).

الحرارة الحيادية " T_n " التي تمثل الحرارة المثالية لمنطقة الراحة الحرارية بإعتبارها تقابل نسبة 5% فقط من مؤشر عدم الرضا "APD" يمكن إستنتاجها من الدالة الخطية لـ: "AMV" بدلالة الحرارة الفعالة (T_o) التي سجلت في نفس الوقت¹ وهي توافق " $AMV = 0$ " أي نقطة تقاطع محور "AMV" مع محور درجات الحرارة الفعالة.

إنطلاقا من هذه المعادلات الحرارية الحيادية قيمة " T_n " ترتفع بمقدار 5.4°C من 21.3°C

عند " $V_{air} < 0.4 \text{ m/s}$ " إلى 26.7°C عند " $V_{air} \geq 0.4 \text{ m/s}$ " هذا الفارق راجع لخصوصية النشاط الذي يؤدي في شروط كثافة عالية ومحدودية الحركة فالمصلي بحاجة لعتبة دنيا لسرعات الهواء: " $V_{air} = 0.4 \text{ m/s}$ ".

¹ International Standardization Organization, EN ISO 10551:2005. *Ergonomics of the thermal environment, Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales.*

بالإضافة إلى أن الحرارة الحيادية (T_n) المستنتجة من المجال " $V_{air} < 0.4 \text{ m/s}$ " هي أقل من نتائج الدراسات السابقة حول أنشطة أخرى في ظروف مناخ مماثلة مثل أعمال "فورجال" (forghal)¹ و"العجمي" (Alajmi)² بالقاهرة و"عبد الله"³ في أسيوط بمصر في حين أنها أكبر عند تجاوز سرعة الهواء لـ: 0.4 م/ثا .

القيمة العليا لمجال الراحة الحرارية والتي توافق أعلى نسبة تصويت لمجال الراحة " $AMV = 0.5$ " هي 26.2°م في المجال " $V_{air} < 0.4 \text{ m/s}$ " وترتفع إلى القيمة 31.0°م في المجال " $V_{air} \geq 0.4 \text{ m/s}$ " هذا بإعتبار أن النسبة 10 % على مؤشر نسبة عدم الرضا هي حدود الراحة الحرارية⁴.

الحرارة المقبولة (Tolerable) والتي تعني أن نسبة عدم الرضا بالوسط الحراري قد وصلت 20 % وهي توافق " $AMV = 1$ "¹ يمكن إستخراجها بالتعويض المباشر في معادلات الراحة الحرارية المستخرجة من الدراسة.

أهمية تأثير سرعة الهواء في زيادة درجة الحرارة المقبولة (Tolerable) تظهر في الجدول 5.5. حيث أن الحرارة الفعالة ترتفع في السيناريو 12 بمقدار 1.4°م مقارنة بالسيناريو 11 من 35.3°م إلى 36.7°م إلا أن نسبة عدم الرضا "PPD" تنخفض من 41.8 إلى 22.8 % كنتيجة لإرتفاع سرعة الهواء من 0.4 إلى 0.71 م/ثا .

إن الحرارة الفعالة $To = 35.4^\circ\text{م}$ هي الحرارة القصوى المقبولة المستخرجة من الدراسة في حالة سرعة الهواء أكبر من 0.4 م/ثا في حين أنها لا تتجاوز 31.1°م في حالة سرعة الهواء الأقل من 0.4 م/ثا .

وهي نفسها الحرارة المقبولة المسجلة عند سرعات هواء ما بين 0 و 0.2 م/ثا في دراسة "كومار" (kumar)¹ وغيره. والتي أجريت في نفس ظروف الرطوبة.

¹ Ferghal, A., Wagner, A. (July 27-29, 2008). Studying the adaptive comfort approach within a hot dry climate: A case study in educational building in the Egyptian climate. *Proceeding of conference air conditioning and the low cooling challenge*. Windsor, UK.

² Al-ajmi, F. F. Loveday D. L. (2010). Indoor thermal conditions and thermal comfort in air-conditioned domestic buildings in the dry-desert climate of Kuwait. *Building and Environment*, 45, 704-710.

³ Abdallah, A. S. H. (2015). Analysis of thermal comfort and energy consumption in long time large educational halls (studios). *Procedia engineering*, 121, 1674-1681. Assiut: Assiut university.

⁴ Ogbonna, A. C., Harris, D. J. (2008). "OP.cit".

خلاصة

خلص هذا الفصل إلى تحديد العلاقة بين تغير سرعة الهواء والإحساس الحراري الذاتي (الحالي)، المعبر عنه بمؤشري معدل التصويت الحالي "AM+V"، ومؤشر عدم الرضا الحالي "APD". وقد تم تحديد هذا التأثير وفق مجالين من سرعات الهواء والمعبر عنها بمعادلات الإحساس الحراري "PMV بدلالة T_o ":

$$AMV = \begin{cases} 0.1025T_o - 2.1895 & (R^2 = 0.8274) \text{ for } v_{air} < 0.4 \text{ m/s} & (1) \\ 0.1159T_o - 3.102 & (R^2 = 0.8545) \text{ for } v_{air} \geq 0.4 \text{ m/s} & (2) \end{cases}$$

- عند المجال " $v_{air} < 0.4 \text{ m/s}$ " يظهر بوضوح عدم تقبل المصلين لإرتفاع درجات الحرارة، بل أنهم أكثر حساسية من توقع النموذج العقلاني الحسائي، وهو ما أكد على عدم ملائمة نموذج "ASHREA ISO 7730" لتقييم الراحة الحرارية للمصلين في مساجد المناخ الحار الجاف في حدود هذا المجال لسرعات الهواء الداخلية. مما يستدعي توسيع مفهوم الراحة الحرارية ليشمل خصوصية بعض الأنشطة كالصلاة عند المسلمين، وهي نشاط يؤدي في ظروف كثافة عالية تصل 1.2 شخص/م²، مع محدودية الحركة مما يساهم في الشعور بالضيق الذي يحتاج إلى عتبة دنيا لحركة الهواء. لذلك يتوجب استخدام المعادلة المستخرجة من الدراسة في هذا المجال من أجل تقييم كفاءة مباني المساجد في المناخ الحار الجاف سواء لتحسين الأداء الحراري للمباني القائمة أو لأجل اختبار التصاميم المستقبلية عن طريق المحاكاة الحرارية.

- عند المجال " $v_{air} \geq 0.4 \text{ m/s}$ " نسبة الرضا بالوسط الحراري وفق المؤشرات الذاتية أكبر من حالة مؤشرات النموذج العقلاني بسبب تأقلم سكان المناطق الحارة. كما أن مجال الراحة الحرارية لمعدل التصويت العقلاني "PMV" محتوى ضمن مجال الراحة الحرارية لمعدل التصويت الحالي "AMV" وهو ما يسمح باستخدام النموذج العقلاني لتقييم الإحساس الحراري مع وجود هامش من المبالغة في التبريد حيث أن الأمثل استخدام المعادلة المستخرجة من الدراسة الميدانية حفاظاً على الطاقة.

¹ Kumar, S. et al. (2016). "OP.cit".

90 % من المستخدمين يرون بأن الحرارة الفعالة 31.0°C مريحة، و80 % صوتوا بأن 35.3°C هي حرارة مقبولة عند السرعات " $V_{air} \geq 0.4 \text{ m/s}$ ".

في حين أن درجة الحرارة المريحة لم تتجاوز 26.2°C والحرارة المحتملة لم تتخطى 31.1°C عند سرعات الهواء الأقل من 0.4 م/ثا.

وستتطرق في الفصل القادم إلى تقييم أهمية هذه النتائج على الإستهلاك الطاقي لنفس حالة الدراسة، بواسطة إستخدام المحاكاة الديناميكية الحرارية. وكذلك دراسة أهميتها على الصحة.

الفصل الرابع:

حالة وأدوات الدراسة

الفصل السادس: ترجمة النتائج

مقدمة

في المناخ الحار الجاف، تلجأ مباني المساجد إلى استخدام التكييف الآلي لأجل توفير جو حراري مريح للمصلين خصوصاً وأن الصلاة عند المسلمين لديها قدسية وظروفاً ذهنية يجب أن تتوفر لها والتي من أهمها الوسط الحراري المناسب. إلا أن ذلك له تبعات إقتصادية وبيئية تندرج في خانة الإسراف والإعتداء على البيئة وهي مظاهر يجارها الدين الإسلامي.

عمد العديد من المعماريين إلى استخدام التبريد بالتبخير لخفض الحرارة الداخلية كأحد عوامل البيئة الحرارية دون التطرق كفاية لتأثيرها على العوامل الأخرى وفي مقدمتها الرطوبة النسبية وعلاقتها بتبخير العرق. أشار العديد من الباحثين إلى الأخطار الصحية المباشرة التي يتعرض لها كبار السن والمرضى جراء الإستخدام العشوائي لتقنيات التبريد سواء الطبيعية أو الآلية.

الأمر الذي دفعنا إلى السعي باتجاه دعم الرضا بالوسط الحراري لتقليل التأثير بإرتفاع درجات الحرارة من خلال عوامل البيئة الحرارية وفي مقدمتها حركة الهواء وهي موضوع الدراسة. من خلال الدراسة الميدانية في الفصلين السابقين تبين أن لسرعة الهواء تأثير فارق في الإحساس الحراري لدى المصلين في مساجد المناخ الحار الجاف، وتم تصنيف هذا التأثير إلى مجالين لسرعات الهواء باعتبار 0.4 م/ثا هي عتبة لتصنيف هذا التأثير.

أثبتت العديد من الأبحاث حول تقييم كفاءة المباني أن أساليب المحاكاة فعالة في تقييم أداء الطاقة في المباني سواء لتحسين كفاءة المباني الموجودة أو لتصميم المباني الحديثة. بسبب قدراتها الديناميكية في ربط العديد من العوامل المؤثرة في الإستهلاك الطاقوي، فهي تقدم نتائج تقديرية تقارب الظواهر الحقيقية¹. العديد من الباحثين إستخدموا في دراساتهم حول تقييم الإستهلاك الطاقوي برنامج المحاكاة الحراري الديناميكي "EDSL TAS" الذي أكدت نتائجه موافقتها للواقع من أمثال الباحث (Hong)^{2,3,1}.

¹ Crawley, D. B., Hand, J. W., Kummert, M., Griffith, B. T. (2008). Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and Environment*, 43(4), 661-673.

² Hong, T., Taylor-Lange, S. C., D'Oca, S., Yan, D., Corgnati, S. P. (2016). Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings. *Energy and Buildings*, 116, 694-702.

³ Alwetaishi, M. (January 2019). Impact of glazing to wall ratio in various climatic regions: A case study. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 31, 6-18

وعليه نسعى في هذا الفصل الى:

- تقييم تأثير نتائج الدراسة الميدانية للبحث على إستهلاك الطاقة لغرض التبريد من أجل التأكيد على أهمية النتائج وذلك بإستخدام برنامج المحاكاة الحراري الديناميكي "EDSL TAS 9.4.3".
- بالإضافة إلى البحث عن إيجاد حدود للتبريد بالتبخير بحيث يمكن الإستفادة من حركة الهواء في دعم الإحساس الحراري عن طريق تبخر العرق في نفس الوقت. وهي بمثابة متطلبات من أجل دقة نتائج وتوصيات الدراسة الميدانية.
- كما سيتطرق إلى تأثير مجالات الراحة الحرارية المتعلقة بحركة الهواء والمستخرجة من الدراسة على صحة المصلين من كبار السن والمرضى من خلال دراسة الفارق الحراري الآمن لتجنب "الصدمة الحرارية".

1. أهمية نتائج الدراسة الميدانية في خفض أحمال التبريد (cooling loads)

1.1. تقديم برنامج المحاكاة (Simulation)

برنامج المحاكاة "EDSL TAS 9.4.3" هو البرنامج المستخدم في التقييم وقد تم إختياره بناء على إمكانياته في المحاكاة الحرارية الديناميكية، حيث يأخذ في الإعتبار مختلف أنماط التبادلات الحرارية المتعلقة بغلاف المبنى وكذا مصادر الريح الحراري الخارجي والداخلي بما في ذلك الناتج عن المستخدمين بنوعيه المحسوس والكامن (Sensitive and latent) بالإضافة إلى الرطوبة والتهوية الطبيعية وكل ذلك في إطار إدخال المشروع بشكل ثلاثي الأبعاد وهو ما يتيح دقة كبيرة عند مقارنته مع البرامج الأخرى.



الشكل 1.6. برنامج المحاكاة. (المصدر: www.edsl.net)

¹ Zoras, S., Veranoudis, S., Dimoudi, A. (2017). Micro- Climate Adaptation of Whole Building Energy Simulation in Large Complexes. *Energy and Buildings*, 150, 81-89.

تطبيقات البرنامج

يتكون برنامج المحاكاة (EDSL-TAS) من ثلاثة تطبيقات متسلسلة:

- تطبيق التصميم (Tas 3D Modeller).
- تطبيق المحاكاة (Tas Building Simulator).
- تطبيق قراءة النتائج (Tas Results Viewer).



الشكل 2.6. تسلسل تطبيقات برنامج المحاكاة. (المصدر: www.edsl.net)

- تطبيق التصميم (Tas 3D Modeller)

يستخدم في إنشاء البناء بمختلف عناصره (التوجيه، الحجم، الشكل، الأبعاد، الفتحات). و يقسم الحجم إلى مناطق حجميه بحسب الحاجة ثم ينقل إلى تطبيق المحاكاة.

- تطبيق المحاكاة (Tas Building Simulator)

ويستخدم لتحديد مختلف الخصائص الحرارية للمبنى (مواد البناء، ومصادر الريح الحراري الداخلي، والتحكم في الفتحات ثم يتم نقله إلى تطبيق قراءة النتائج).

- تطبيق قراءة النتائج (Tas Results Viewer)

وهو تطبيق خاص بقراءة النتائج حسب الإختيار حيث تظهر نتائج المحاكاة بشكل منحنيات بيانية وجداول لمختلف التغيرات الساعية للعوامل البيئية (درجات الحرارة والرطوبة...) ، والإستهلاك الطاقوي.

2.1. سير المحاكاة

تم المحاكاة على عدة مراحل كالآتي:

1.2.1. التأكد من ملاءمة النموذج للمحاكاة

من أجل تقييم التوافق بين المحاكاة والواقع، إشتملت هذه المرحلة على إجراء مقارنة نتائج المحاكاة مع نتائج القياس من خلال إخضاع المشروع لنفس شروط القياس أثناء المحاكاة (ليوم 30 مارس 2016 م) حيث أطفئ التكييف وأعتمد في التهوية الطبيعية على عدة سيناريوهات لفتح القبة وكذلك فتح النوافذ، كما أن السيناريوهات تضمنت وجود المصلين بأعداد متفاوتة خلال اليوم (كمصدر للريح الحراري الكامن والمحسوس). كل هذه العوامل إضافة إلى إستخدام نفس الظروف المناخية (الظروف المناخية المقاسة في الموقع) قد أخذت

بعين الإعتبار أثناء المحاكاة. وأعتمد في المقارنة على درجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية. كل هذه المرحلة كانت وفق توجيهات عدة أبحاث¹.

2.2.1. تقييم أهمية النتائج في خفض إستهلاك طاقة التبريد

لمحاكاة تأثير وأهمية نتائج الدراسة الميدانية (الخاصة بالراحة الحرارية) على أحمال التبريد إعتمدنا على ما يلي:
- محاكاة كامل الفترة الحارة من السنة (من اليوم 81 إلى 300) على أساس بيانات الطقس من برنامج "Meteonorm-7".

- إعتمدنا في برجة المنظمات الحرارية " ترموستا" التكييف الآلي² على مخرجات معادلات الراحة الحرارية لكل مجال من سرعات الهواء المستخرجة من الدراسة الميدانية والقيم المعنية هي: درجة الحرارة المحايدة "Tn" والحرارة القصوى لمجال الراحة "T_{max}".

- أثبتت العديد من الأبحاث حول تقييم تغيير الهواء أنه من أجل تحقيق بيئة ملائمة للتنفس وتجنب تراكم ثاني أكسيد الكربون، يجب أن يتجاوز تغير الهواء "ACH" لكل ساعة 3 حجم/ساعة ويمكن أن يأخذ القيم من 3 إلى 20^{3,4}.

وبناء على ذلك ولأجل تقييم تأثير نمط التهوية على طاقة التبريد، إقترحنا لأجل المحاكاة ثلاثة قيم مختلفة لتغير الهواء الساعي: "ACH=3"، "ACH=13" و"ACH=20".

3.1. نموذج الدراسة

من أجل محاكاة الواقع قمنا بإدخال مشروع مسجد "أبي موسى الأشعري" وهو حالة الدراسة بمدينة وادي سوف بأبعاده الثلاثة وبكل مكوناته وعناصره المعمارية كما يظهره الشكل 3.6. مع مراعاة مختلف التفاصيل المؤثرة على الأداء الحراري:

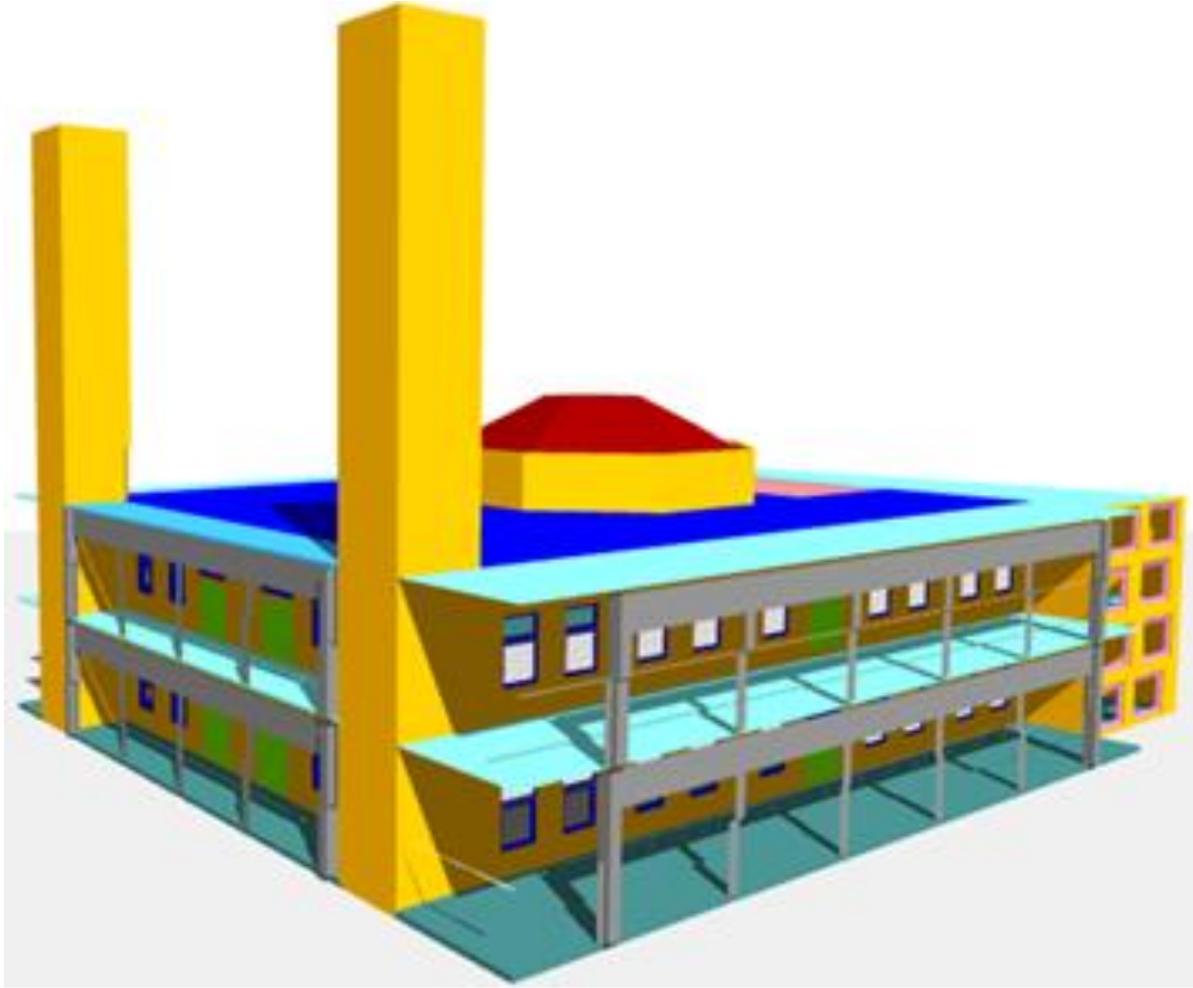
- إحدائيات الموقع الجغرافي.
- إختيار خاصية الموقع العمراني.
- مختلف العناصر المعمارية بأبعادها وقياساتها.
- مختلف الفتحات مع سيناريوهات فتحها وإغلاقها.

¹ Hong, T., Taylor-Lange, S. C., D'Oca, S., Yan, D., Corgnati, S. P. (2016). "OP.cit".

² Wang, S. K. (2000). *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*. McGraw Hill.

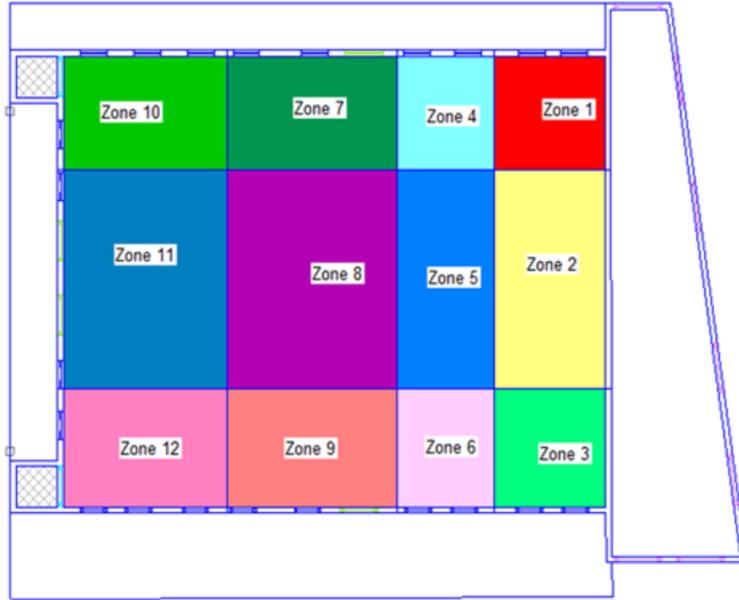
³ Poshtiri, A. H., Mohabbati, S. M. (2017). Performance analysis of wind catcher integrated with shower cooling system to meet thermal comfort conditions in buildings. *Journal of Cleaner Production*, 148, 452-466

- مواد البناء وخصائصها الحرارية.
- عدد المصلين ومناطق التوزيع بإختلاف الايام والأوقات.



الشكل 3.6. نموذج المحاكاة ثلاثي البعد لحالة الدراسة (المصدر: الباحث).

- قسمت قاعة الصلاة إلى 4 مستويات إفتراضية تحتوي كل منها على 12 منطقة لمحاكاة أكثر دقة. يبين الشكل 4.6. المستوى الإفتراضي الأول وهو في حدود إرتفاع المصلين.
- تقع المناطق من 1 إلى 6 تحت القبة، بين النوافذ المفتوحة على الجانبين الأيسر والأيمن. هذه المناطق هي الوحيدة التي شغلها المصلون خلال أوقات الصلاة المختلفة في الدراسة مع بعض الإختلاف من صلاة إلى أخرى، والتي أخذت بعين الإعتبار في مداخل الظروف الداخلية لكل محاكاة.
- تمثل المنطقة 2 نقطة رفع القياسات رقم 1 (انظر الفصل الرابع).



الشكل 4.6. المستوى الافتراضي الأول (المصدر: الباحث)

4.1. مداخل البرنامج (program inputs)

مثل كل البرامج الحاسوبية الخاصة بعمليات المحاكاة لابد من إدخال معطيات البرنامج التي تمثل ظروفه وهي نفسها الظروف الواقعية والتي تخضع إلى مجموعة من لوائح البرنامج والموزعة كما يلي:

1.4.1. ملف المعطيات المناخية

من أجل محاكاة الواقع محاكاة دقيقة، قمنا بإدخال نفس الظروف المناخية الخارجية ليوم القياس، في حالة المقارنة بين المحاكاة والواقع وهي المعطيات المقاسة في الموقع من قبل الباحث باستخدام أدوات لقياس الظروف الخارجية (انظر الفصل الرابع).

في بقية الدراسة إستخدمنا ملف مناخي يحوي درجة حرارة الهواء الخارجي والرطوبة النسبية وسرعة الرياح وإتجاهها وكذلك شدة الإشعاع الشمسي وذلك لكل ساعة بالإعتماد على ملف مستخرج من برنامج "meteonorm-7 software".

2.4.1. عناصر ومواد البناء

في تطبيق التصميم (Tas 3D Modeller) يتم تحديد الموقع وإحداثياته ثم رسم مخطط المسجد بشكل ثلاثي الأبعاد مع تسمية مختلف عناصر البناء من جدران، أسقف، نوافذ وأبواب.

تعرف المكونات والخصائص الفيزيائية للعناصر البنائية في تطبيق المحاكاة (Building Simulator) ويزر الجدول 1.6. والجدول 2.6. العناصر البنائية المستخدمة:

الجدول 1.6. مكونات العناصر البنائية المستخدمة (المصدر: الباحث)

العناصر البنائية	المكونات	السّمك (ملم)	السّمك الإجمالي (ملم)
الجدار الخارجي	تغطية داخلية بالاسمنت / رخام	30 / 15	350 / 335
	القرميد المجوف	100	
	صفيحة الهواء	50	
	قرميد مجوف	150	
	مزيج اسمنت	20	
الأرضية	خرف أرضي	25	200
	طبقة رملية	25	
	خرسانة مسلحة	150	
سقف داخلي	خرف أرضي	25	270
	طبقة رملية	25	
	سقف مجوف	200	
	الجبس	20	
سقف	الجبس	20	270
	سقف مجوف	200	
	عازل لنفاذ الماء	20	
	حصي	30	
الباب	خشب	30	30
إطار خشبي	خشب	50	50
زجاج	زجاج ملون	6	6

الجدول 2.6. الخصائص الحرارية للمواد المستخدمة.

الانبعائية	الانعكاس الضوئي		الانعكاس الشمسي		معامل مقاومة التبخر	الكتلة الحجمية ρ (kg/m ³)	القدرة الحرارية (J/Kg. °C)	الناقلية الحرارية $\lambda = (W/m^2 \text{ } ^\circ C)$		
	داخلي	خارجي	داخلي	خارجي						
0.9	0.9	0	0	0.6	0.6	11	960	936	0.35	جبس عادي
0.93	0.93	0	0	0.28	0.28	8	900	936	0.48	قرميد مجوف

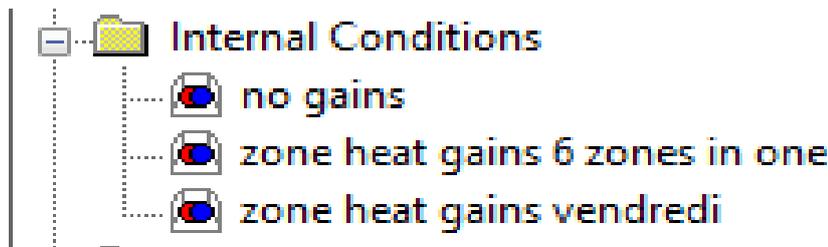
0.9	0.9	0	0	0.6	0.6	19.2	1890	780	1.4	خليط اسمنت
0.9	0.9	0	0	0.35	0.35	34	1450	1080	1.45	خرسانة
0.25	0.25	0	0	0.11	0.11	99999	1100	1656	0.23	عازل لنفاذ الماء
0.9	0.9	0	0	0.35	0.35	38.4	1800	792	1.2	حصى
0.9	0.9	0	0	0.35	0.35	34	2250	1080	1.14	سطح مجوف
0.9	0.9	0	0	0.3	0.3	99999	1300	639	0.6	طبقة رملية

معامل مقاومة التبخر	معامل الحمل Coefficient de Convection (w/m ² °c)	
1	1.25	صفحة الهواء

الانبعاثية		انعكاس الضوء		نفاذ الضوء	انعكاس الشمس		النفاذية الشمسية	معامل مقاومة التبخر	λ (W/m ² °C)	
داخلي	خارجي	داخلي	خارجي	0.5	داخلي	خارجي	0.3			
0.5	0.5	0	0		0.09	0.09		9999	1	زجاج ملون

3.4.1. الظروف الداخلية

يستخدم هذا التطبيق الملحق من أجل إدراج لكل منطقة الريح الحراري الداخلي للإضاءة والريح الحراري للمستخدمين بنوعيه المحسوس، والكامن وكذلك الريح الحراري الناتج عن التهوية، ويمكن التحكم في مصادر الريح من خلال إدراج التطبيق الملحق الخاص بالسيناريوهات (Scenarios) من أجل محاكاة أكثر واقعية ودقة قمنا في حالتنا بإستخدام 03 أنماط من الظروف الداخلية كما يظهره الشكل 5.6.



الشكل 5.6. عناصر البناء المستخدمة (المصدر: الباحث)

أستخدمت هذه الظروف الداخلية الثلاثة:

- بدون ربح حراري بشري (ربح الحرارة بالإضاءة وفق سيناريوهات فقط).
 - ربح حراري بشري وفق كثافة المصلين 1.2 شخص/م².
 - ربح حراري اعلى وقت صلاة الجمعة حيث تزيد الكثافة لتصل 1.3 شخص/م².
 - في مرحلة تقييم الأثر الطاقوي لنمط التهوية تم التحكم في قيم التغيير الساعي للحجم "ACH" ليأخذ القيم 3، 13 و 20. في الوقت الذي أغلقت فيه الفتحات.
- وقد ربطت هذه الظروف بكل منطقة إفتراضية وفق ما تقتضيه في الواقع.

4.4.1. ملحق السيناريوهات

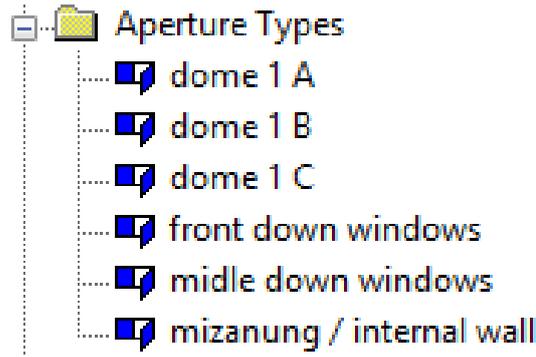
- ويستخدم للتحكم في التوزيع الزمني لمصادر الريح الطاقوي الداخلي، والتحكم في الفتحات، وكذلك "المنظم الحراري" (Thermostat). وقد إستخدمنا في حالتنا نوعين:
- سيناريوهات خاصة بشغل المصلين لقاعة الصلاة.
 - سيناريوهات خاصة بفتح وغلق القبة وأخرى خاصة بالنوافذ.

5.4.1. أنماط الفتحات

هذه الخدمة تسمح بالتحكم في التهوية الطبيعية، ونمط الفتحات هنا هو عبارة عن فتحة في جدار أو سقف، والتي يمكن للهواء أن يتخللها، ويمكن إدراج هذه الميزة في أي عنصر بنائي، ويقوم البرنامج بحساب حركة الهواء من وإلى الفتحة تلقائيا بما في ذلك تأثيرها على الأداء الحراري بمختلف عناصره.

في دراستنا وبهدف مقارنة الواقع في المحاكاة قمنا في مرحلة تقييم ملاءمة البرنامج بإدخال نفس الخصائص في السيناريوهات (أنظر الفصل الرابع). حيث نقوم في كل وضعية من الوضعيات المدروسة بفتح الفتحات المطلوبة وفقا لما تتطلبه كل حالة، و يهدف فتح القبة إلى إخراج الهواء في حين فتحات النوافذ تهدف لإدخاله.

في المرحلة الثانية ولتقييم تأثير مجالات الراحة الحرارية المستخرجة على الإستهلاك الطاقوي إستبدلنا الفتحات ببرمجة مقدار تغير الهواء في القاعة "ACH" وفق ثلاثة سيناريوهات كما هو مذكور سابقا في هذا الفصل.



(أ)

Aperture Type

Name: dome 1 A

Description:

Sheltered

Gain	Value	Factor	Setback Value	Schedule
Opening	1.0 (0-1)	1.0	0.0 (0-1)	dome 1 A

Weekday
Saturday
Sunday

(ب)

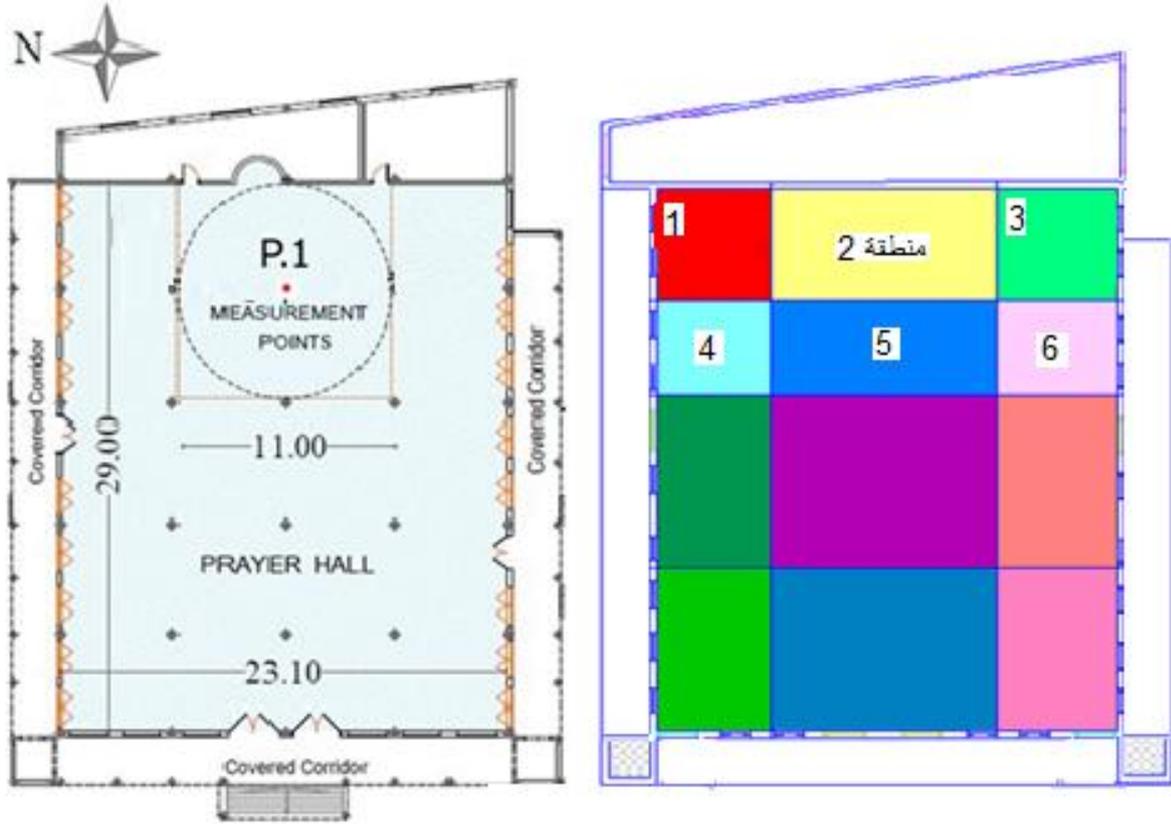
الشكل 6.6. نمط الفتحات (المصدر: الباحث)
(أ). أنواع الفتحات. (ب). طريقة التحكم في الفتحات

5.1. تحليل ومناقشة النتائج

بعد برمجة المشروع أجريت العديد من عمليات المحاكاة والتي صنفت نتائجها كما يلي:

1.5.1. تأكيد ملائمة نموذج المحاكاة

الشكل 7.6. يقدم توضيحا لموقع القياس "P1" على مخطط المسقط لحالة الدراسة وكذلك المناطق التي شغلها المصلون (1-6) في مختلف أوقات الصلاة على مخطط المسقط لنموذج المحاكاة بما في ذلك المنطقة 2 التي توافقت موقع القياس.



الشكل 7.6. نقاط القياس في مخطط النموذج الواقعي وما يقابلها من مناطق في نموذج المحاكاة.
(المصدر: الباحث)

1.1.5.1 مقارنة بين الواقع والقياس

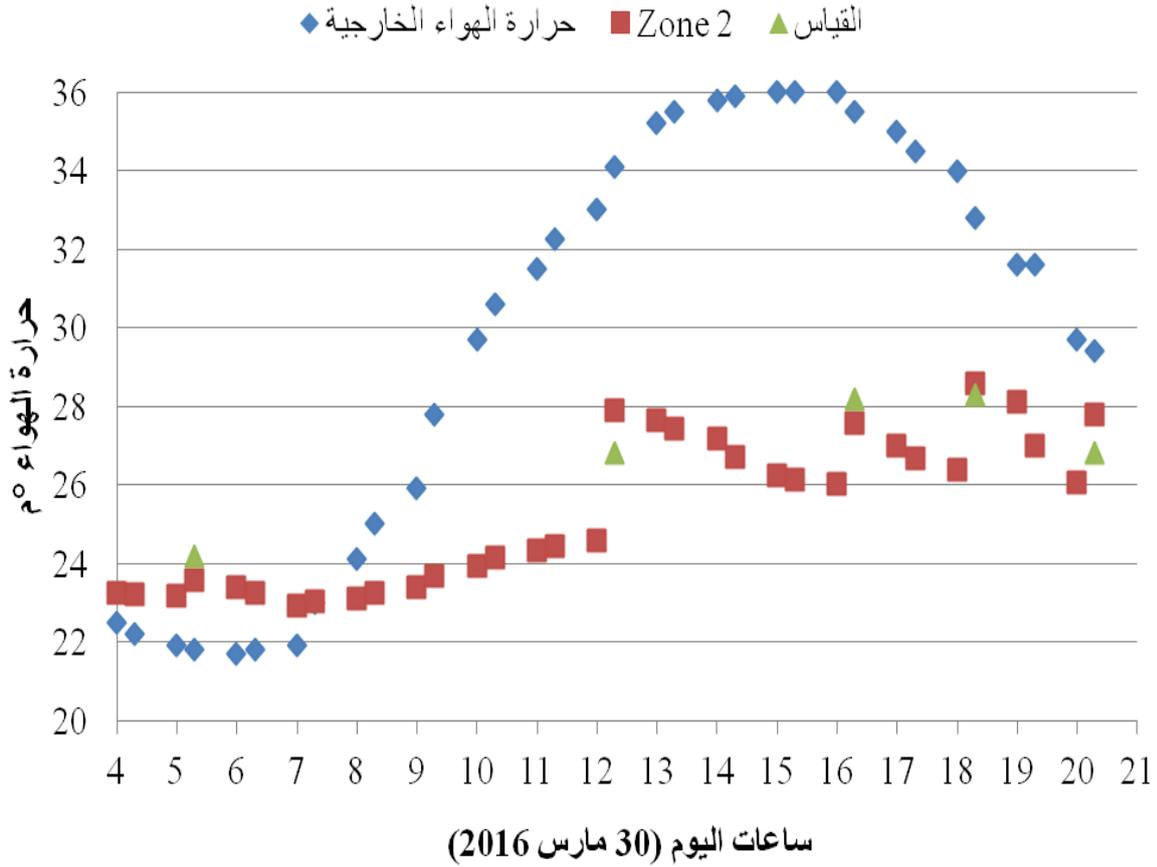
المقارنة بين نتائج القياس لدرجة حرارة الهواء "Ta" والرطوبة النسبية "%" في النقطة "P1" والمحاكاة

لنفس المنطقة "منطقة 2" ليوم 30 مارس 2016 موضحة في الشكل 8.6.

الشكل 8.6. يظهر نتائج تغير درجات حرارة الهواء ليوم 30 مارس 2016 من الساعة 4 إلى الساعة

21 وذلك لكل من: المحاكاة بشكل تغير ساعي، القيم المسجلة بالقياس لكل صلاة، بالإضافة الى حرارة الهواء

الخارجي.



الشكل 8.6. مقارنة بين درجة حرارة الهواء للمحاكاة والقياس ليوم 30 مارس 2016.

(المصدر: الباحث).

التحليل المقارن بين المحاكاة والقياس على أساس نقاط رفع القياس تم وفق 5 سيناريوهات:

- وقت صلاة الفجر على الساعة 5:30 وقد كانت الحرارة الخارجية 21.7°C :

وصلت درجة الحرارة بالمحاكاة 23.7°C وهي أقل بـ: 0.5°C من القيمة المسجلة بالقياس. مع الإشارة إلى أن درجات الحرارة بالمحاكاة قد شهدت إرتفاعا بعد شغل المصلين لقاعة الصلاة بميل بلغ 1° متأثرا بالرياح الحراري الناتج عن المصلين الذين بلغوا 184 شخص، وقد بدأت الحرارة بالإنخفاض مباشرة بعد فراغ القاعة.

- وقت صلاة الظهر على الساعة 13:00 كانت الحرارة الخارجية 34°C :

وصلت درجة الحرارة بالمحاكاة 27.8°C وهي أعلى بـ: 0.9°C من القيمة المسجلة بالقياس. مع الإشارة إلى أن درجات الحرارة بالمحاكاة قد شهدت إرتفاعا بعد شغل المصلين لقاعة الصلاة بميل بلغ 3.5° متأثرا بالرياح الحراري الكبير للمصلين الذين بلغوا 322 شخص، إضافة إلى تأثير الإرتفاع المتزايد لحرارة الهواء الخارجية خصوصا مع التهوية المباشرة.

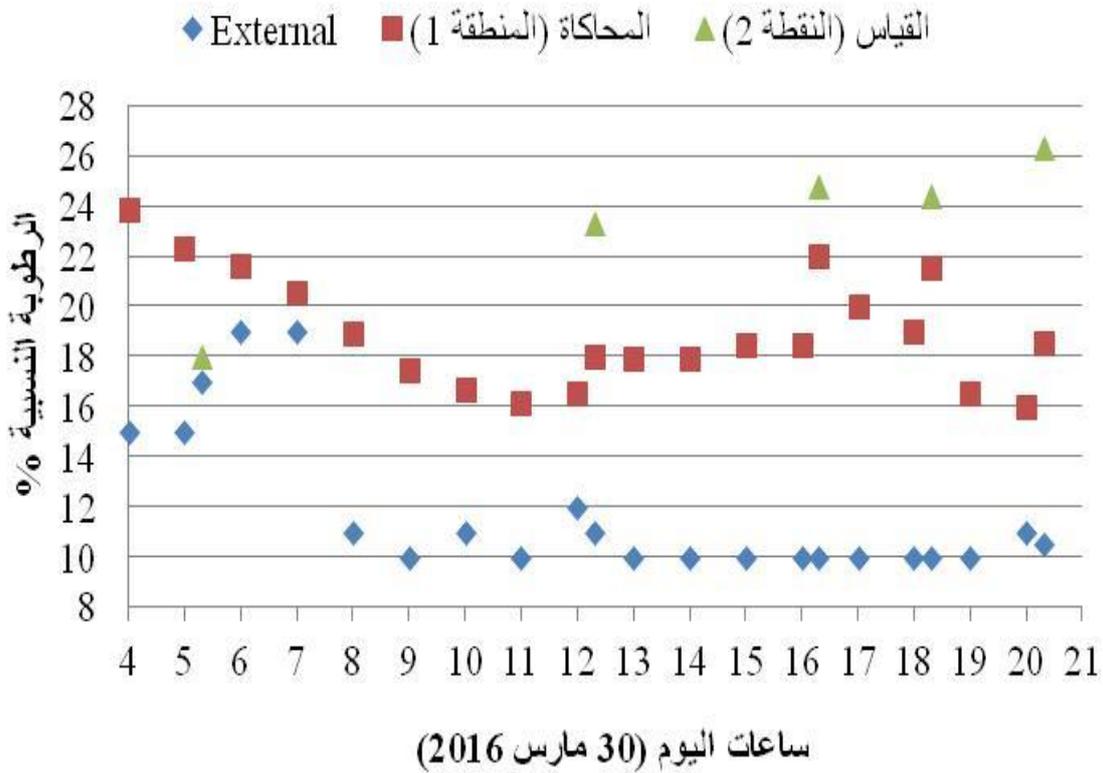
- وقت صلاة العصر على الساعة 16:30 كانت الحرارة الخارجية 35.6°م: وصلت درجة الحرارة بالمحاكاة 27.6°م وهي أقل ب: 0.6°م من القيمة المسجلة بالقياس. مع الإشارة إلى أن درجات الحرارة بالمحاكاة قد شهدت إرتفاعا بعد شغل المصلين لقاعة الصلاة بميل بلغ 1.6° متأثرا بالرياح الحراري الكبير للمصلين الذين بلغوا 330 شخص، في حين كانت الحرارة الخارجية مستقرة الأمر الذي أدى إلى ميل أقل من الميل في صلاة الظهر.

- وقت صلاة المغرب على الساعة 19:00 كانت الحرارة الخارجية 31.7°م: وصلت درجة الحرارة بالمحاكاة 28.7°م وهي أعلى ب: 0.3°م من القيمة المسجلة بالقياس. مع الإشارة إلى أن درجات الحرارة بالمحاكاة قد شهدت إرتفاعا بعد شغل المصلين لقاعة الصلاة بميل بلغ 1.8° متأثرا بالرياح الحراري الكبير للمصلين الذين بلغوا 414 شخص، في حين عرفت الحرارة الخارجية إنخفاضاً كبيراً.

- وقت صلاة العشاء على الساعة 20:30 كانت الحرارة الخارجية 29.4°م: وصلت درجة الحرارة بالمحاكاة 27.8°م وهي أعلى ب: 0.7°م من القيمة المسجلة بالقياس. مع الإشارة إلى أن درجات الحرارة بالمحاكاة قد شهدت إرتفاعا بعد شغل المصلين لقاعة الصلاة بميل بلغ 1.6° متأثرا بالرياح الحراري الكبير للمصلين الذين بلغوا 390 شخص، في حين عرفت الحرارة الخارجية إنخفاضاً كبيراً.

يبرز بوضوح التوافق الكبير بين القيم المقاسة ونتائج المحاكاة لدرجة حرارة الهواء حيث بلغ الفارق في أقصاه 0.9°م وهو ما يؤكد على ملاءمة البرنامج والنموذج المنجز بمختلف مداخله لمحاكاة الواقع فيما يخص دراسة البيئة الحرارية لحالة الدراسة.

الشكل 9.6. يظهر نتائج تغير قيم الرطوبة النسبية ليوم 30 مارس 2016 من الساعة 4:00 إلى الساعة 21:00 وذلك لكل من: المحاكاة بشكل تغير ساعي، القيم المسجلة بالقياس لكل صلاة، بالإضافة إلى الرطوبة لنسبية للهواء الخارجي.



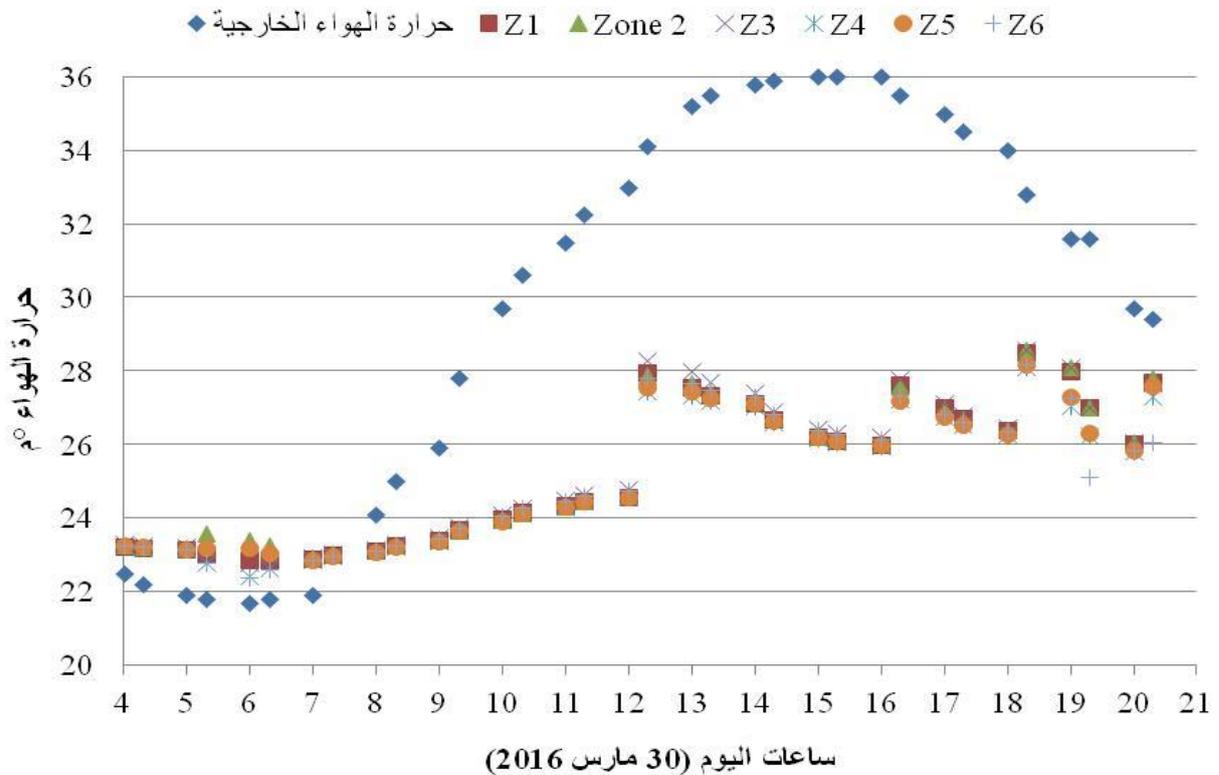
الشكل 9.6. مقارنة بين رطوبة الهواء النسبية للمحاكاة والقياس ليوم 30 مارس 2016.
(المصدر: الباحث).

- التحليل المقارن بين المحاكاة والقياس على أساس نقاط رفع القياس تم وفق 5 سيناريوهات:
- وقت صلاة الفجر على الساعة 5.30 وقد كانت الرطوبة النسبية للهواء الخارجي 18%: وصلت الرطوبة النسبية بالمحاكاة 21.8% وهي أعلى بـ: 3.8% من القيمة المسجلة بالقياس.
 - وقت صلاة الظهر على الساعة 13.00 وقد كانت الرطوبة النسبية للهواء الخارجي 10%: وصلت الرطوبة النسبية بالمحاكاة 23.3% وهي أقل بـ: 5.3% من القيمة المسجلة بالقياس.
 - وقت صلاة العصر على الساعة 16.30 وقد كانت الرطوبة النسبية للهواء الخارجي 10%: وصلت الرطوبة النسبية بالمحاكاة 22% وهي أقل بـ: 2.8% من القيمة المسجلة بالقياس.
 - وقت صلاة المغرب على الساعة 19.00 وقد كانت الرطوبة النسبية للهواء الخارجي 10%: وصلت الرطوبة النسبية بالمحاكاة 21.8% وهي أقل بـ: 2.6% من القيمة المسجلة بالقياس.
 - وقت صلاة العشاء على الساعة 20.30 كانت الرطوبة النسبية للهواء الخارجي 11%: وصلت الرطوبة النسبية بالمحاكاة 18.4% وهي أقل بـ: 7.9% من القيمة المسجلة بالقياس.

يتضح أن الفارق في الرطوبة النسبية بين القيم المسجلة بالقياس ونتائج المحاكاة قد بلغت في أقصاها 7.9 % وهي تأكيد واضح على ملاءمة النموذج فيما يخص تقييم الرطوبة النسبية. كما تتضح العلاقة بين الرطوبة النسبية ودرجة الحرارة فإرتفاع فارق درجة الحرارة في حالة المحاكاة مقارنة بالقياس يصاحبه إنخفاض في فارق الرطوبة النسبية والعكس صحيح. وهو ناتج عن قدرة الهواء الأكثر حرارة على حمل رطوبة أكثر وبالتالي إنخفاض نسبتها. مع وجود تأثير واضح لشغل قاعة الصلاة على التغير المتزايد للرطوبة النسبية وهو ما يفسر بالرياح الحراري الكامن عن طريق تبخر العرق والتنفس للأشخاص.

2.1.5.1. التوزيع الحراري بين المناطق

بهدف دراسة التوزيع الحراري بين المناطق التي شغلها المصلون (من المنطقة 1 إلى 6) خلال كامل الدراسة قمنا بإختيار يوم 30 مارس 2016 والذي يجوي خمسة سيناريوهات تم التعامل معها وفق ظروف كل منها من حيث عدد المصلين بشكل كثافة لكل منطقة وكذا مختلف الظروف الخارجية المقاسة وقد سجلت النتائج في الشكل 10.6.



الشكل 10.6. مقارنة بين نتائج المحاكاة لدرجات حرارة الهواء للمناطق 1-6.

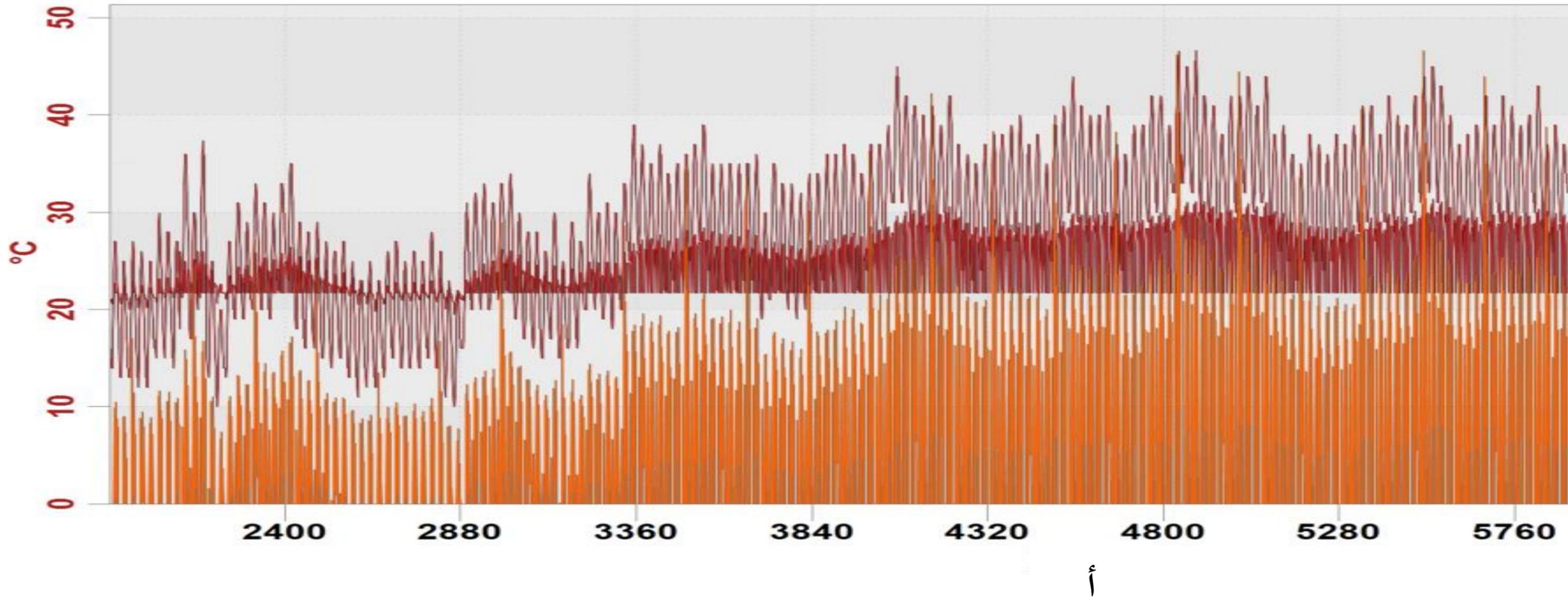
(المصدر: الباحث)

ويتبين من خلال تتبع القيم أن الفارق بين المناطق الستة متقارب بحيث لم يتجاوز 0.4°م، وهذا يدعم مصداقية نتائج الدراسة الميدانية حيث أن العينات البحثية كانت ضمن ظروف حرارية متماثلة (تجانس المناطق).

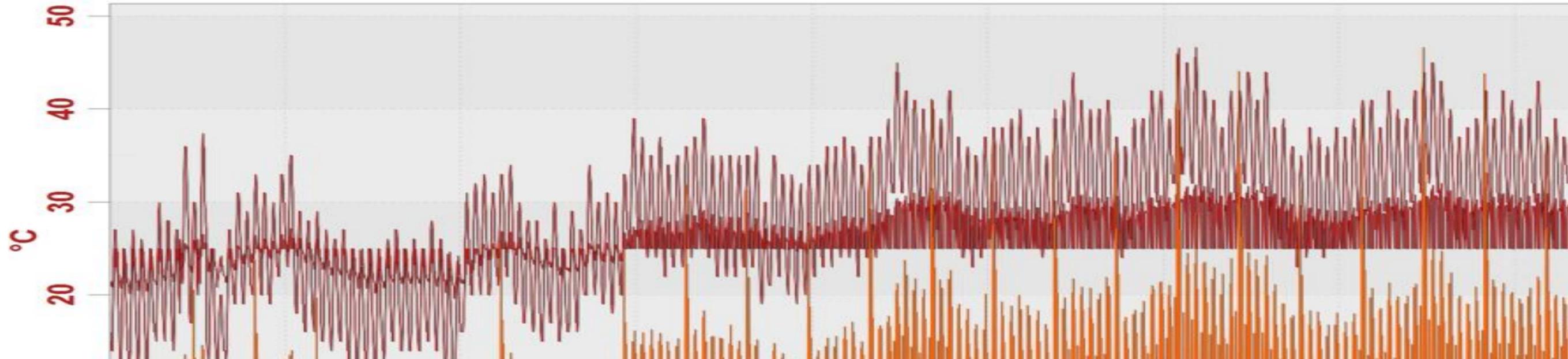
2.5.1. أحمال التبريد (cooling loads)

لغرض تقييم تأثير نتائج الدراسة الميدانية والمتمثلة في مجالي الراحة الحرارية وفق سرعات الهواء على أساس العتبة 0.4 م/ثا قمنا في البداية بالبحث عن تقسيم الفترات الحارة بالنظر إلى الحرارة الداخلية ومقدار الإستهلاك مع الأخذ بعين الإعتبار لمختلف السيناريوهات التي تحاكي الواقع بما في ذلك إمتلاء القاعة في صلاة الجمعة في حين عمم عدد وتباين المصلين للدراسة الميدانية على باقي الفترة الحارة والتي تبدأ من اليوم 81 الى اليوم 300. وقد سجلت النتائج في الشكل 11.6. على أساس برمجة "المنظم الحراري" (Thermostat) وفق الحرارة الحيادية لكل مجال.

Temperatures and Loads



Temperatures and Loads



- من خلال تتبع البيانين لكل من حرارة الهواء الداخلية والطاقة المستهلكة للتبريد لكامل الفترة الحارة يتضح أن هناك تبايناً بين ثلاثة فترات فيما يخص تواتر الإستهلاك وهي موزعة كما يلي:
- فترة حارة من اليوم 81 الى 140: (من الساعة 1920 إلى 3360).
 - الفترة شديدة الحر من اليوم 141 إلى اليوم 253: (من الساعة 3361 إلى 6080).
 - فترة حارة من اليوم 254 الى 300: (من الساعة 6081 إلى 7200).

1.2.5.1. تأثير برمجة المعدلات الحرارية (Thermostat)

بالإعتماد على مجالي سرعة الهواء المؤثرة على معادلات الراحة الحرارية المستخرجة من الدراسة الميدانية، وباعتبار الحرارة الفعالة "T_o" أقل من درجة حرارة الهواء في كل السيناريوهات المدروسة وبفارق لم يتجاوز 0.2°م (كما هو مبين في الفصل السابق). قمنا ببرمجة الترموستات الخاصة بالتحكم في التكييف الآلي بالإعتماد على مخرجات المعادلات الخطية للحرارة الحيادية "T_n" والحرارة القصوى للراحة "T_{n^{sup}}" الخاصة بكل مجال من مجالي سرعات الهواء:

$$AMV = \begin{cases} 0.1025T_o - 2.1895 & (R^2 = 0.8274) \quad for \quad v_{air} < 0.4 \text{ m/s} \quad (1) \\ 0.1159T_o - 3.102 & (R^2 = 0.8545) \quad for \quad v_{air} \geq 0.4 \text{ m/s} \quad (2) \end{cases}$$

Where: حيث

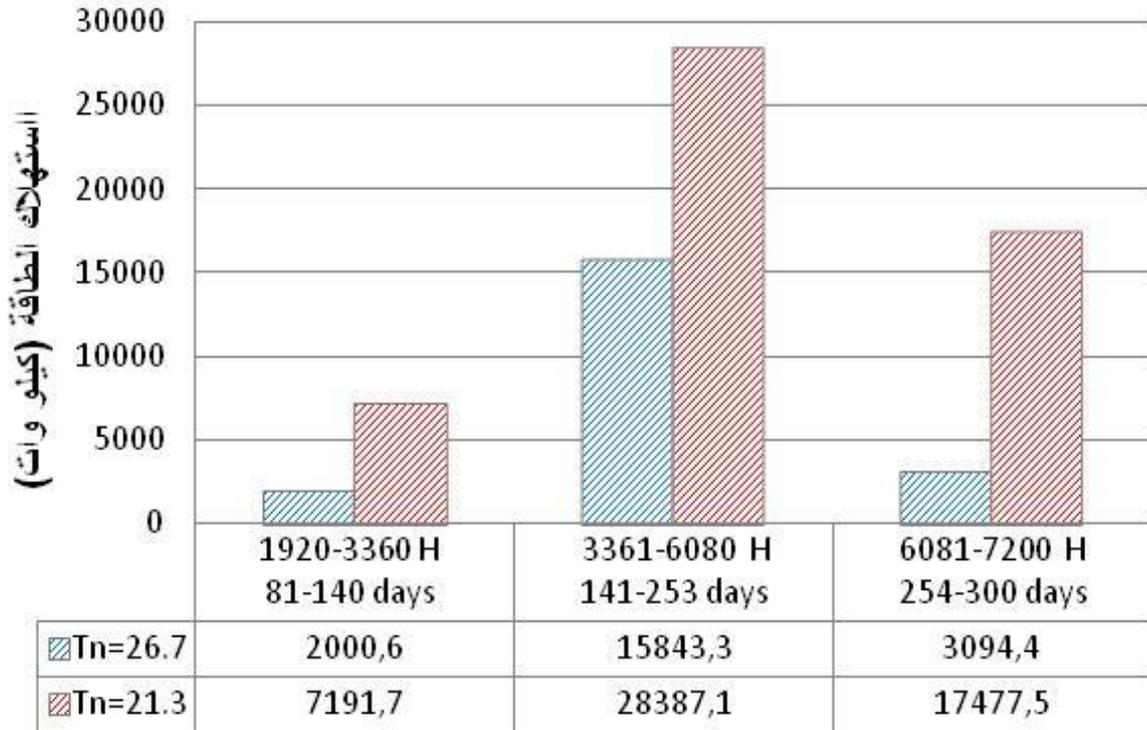
AMV: Actual mean vote (معدل التصويت الحالي).

T_o: Operative temperature (الحرارة الفعالة).

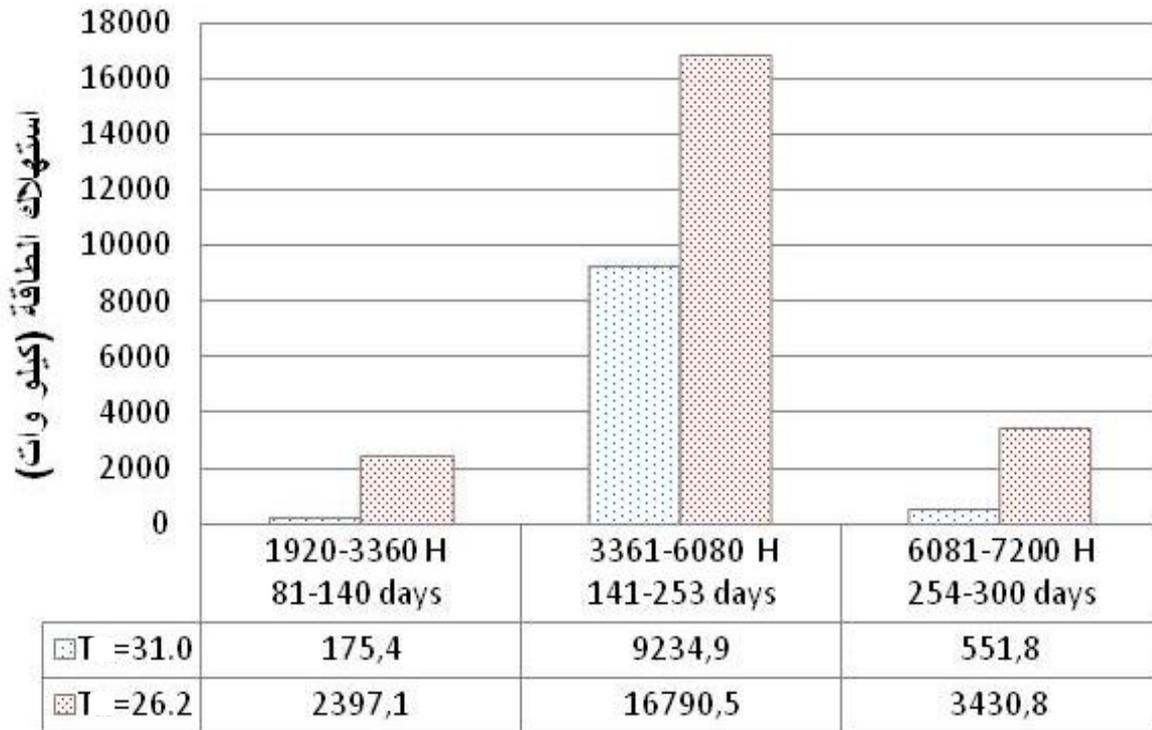
V_{air}: relative air velocity, (m / s) (متوسط سرعة الهواء).

R²: correlation between AMV and T_o (معامل الترابط).

بالإضافة إلى الأخذ بعين الاعتبار مقدار تغير الهواء بالساعة "ACH=3" كقيمة ثابتة في كامل الحالات كمرحلة أولى. وتظهر النتائج في الشكل 12.6. لاستهلاك الطاقة في التبريد وفق الفترات الحارة الثلاثة في حين يظهر الشكل 13.6. نسب مئوية لتوفير أحمال التبريد.



أ. على أساس الحرارة الحيادية



ب. على أساس الحد الأقصى للراحة الحرارية

الشكل 12.6. مقارنة الاستهلاك الكمي الطاقوي بالإعتماد على برمجة تيرموستات التكييف

(أ). على أساس Tn / (ب). على أساس Tn_{sup}

الشكل 12.6.أ. يقدم نتائج الإستهلاك الطاقوي على أساس برمجة المنظم الحراري وفق الحرارة

الحيادية لمجالي الراحة الحرارية:

" $T_n = 21.3^\circ\text{C}$ " لسرعات الهواء الأقل من 0.4 م/ثا: في الفترة الحارة الأولى "60 يوما" بلغ الإستهلاك 7191.7 كيلووات، وبلغت في الفترة شديدة الحر والأطول مدة "113 يوما" 28387.1 كيلووات، بينما وصل الإستهلاك في الفترة الحارة الثالثة والأقل مدة "47 يوما" 17477.5 كيلووات.

" $T_n = 26.7$ " لسرعات الهواء التي تساوي أو تتجاوز 0.4 م/ثا: في الفترة الحارة الأولى "60 يوما" بلغ الإستهلاك 2000.6 كيلووات، وبلغت في الفترة شديدة الحر والأطول مدة "113 يوما" 15843.3 كيلووات، بينما وصل الإستهلاك في الفترة الحارة الثالثة والأقل مدة "47 يوما" 3094.4 كيلووات.

ويتضح من هذه القيم أن توفير سرعات هواء تتجاوز 0.4 م/ثا يستهلك طاقة تبريد إجمالية مقدارها 20938.3 كيلووات وهي أقل بمقدار 32118 كيلووات من حالة سرعات الهواء الأقل من 0.4 م/ثا والتي تحتاج لإستهلاك 53056.3 كيلووات من أجل التبريد وهو ما يعني توفير مقدار كبير من الطاقة خصوصا في الفترتين الأولى والثالثة بحكم قدرة الهواء الخارجي على توفير الراحة دون الحاجة لتشغيل المكيفات وذلك في أوقات كثيرة.

الشكل 12.6.ب. يقدم نتائج الإستهلاك الطاقوي على أساس برمجة المنظم الحراري وفق الحرارة

القصوى لمجالي الراحة الحرارية:

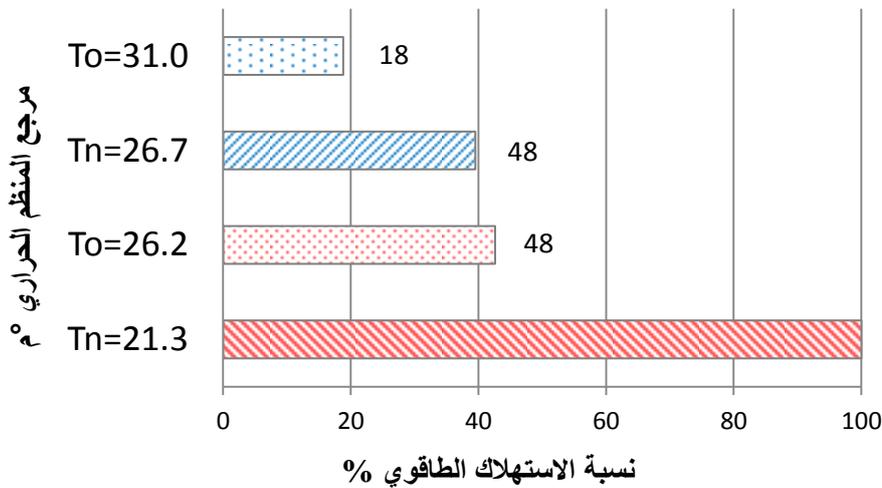
" $T_{n\text{sup}} = 26.2^\circ\text{C}$ " لسرعات الهواء الأقل من 0.4 م/ثا: في الفترة الحارة الأولى "60 يوما" بلغ الإستهلاك 2397.1 كيلووات، وبلغت في الفترة شديدة الحر والأطول مدة "113 يوما" 16790.5 كيلووات، بينما وصل الإستهلاك في الفترة الحارة الثالثة والأقل مدة "47 يوما" 3430.8 كيلووات.

" $T_{n\text{sup}} = 31.0^\circ\text{C}$ " لسرعات الهواء التي تساوي أو تتجاوز 0.4 م/ثا: في الفترة الحارة الأولى "60 يوما" بلغ الإستهلاك 175.4 كيلووات، وبلغت في الفترة شديدة الحر والأطول مدة "113 يوما" 9234.9 كيلووات، بينما وصل الإستهلاك في الفترة الحارة الثالثة والأقل مدة "47 يوما" 551.8 كيلووات.

ويتضح من هذه القيم أن توفير سرعات أكبر من 0.4 م/ثا يستهلك طاقة تبريد إجمالية مقدارها 9962.1 كيلووات وهي أقل بمقدار 12656.3 كيلووات من حالة سرعات الهواء الأقل من 0.4 م/ثا والتي تحتاج لإستهلاك 22618.4 كيلووات من أجل التبريد وهو ما يعني توفير مقدار كبير من الطاقة خصوصا في

الفترتين الأولى والثالثة بحكم قدرة الهواء الخارجي على توفير الراحة دون الحاجة لتشغيل المكيفات وذلك في أوقات كثيرة.

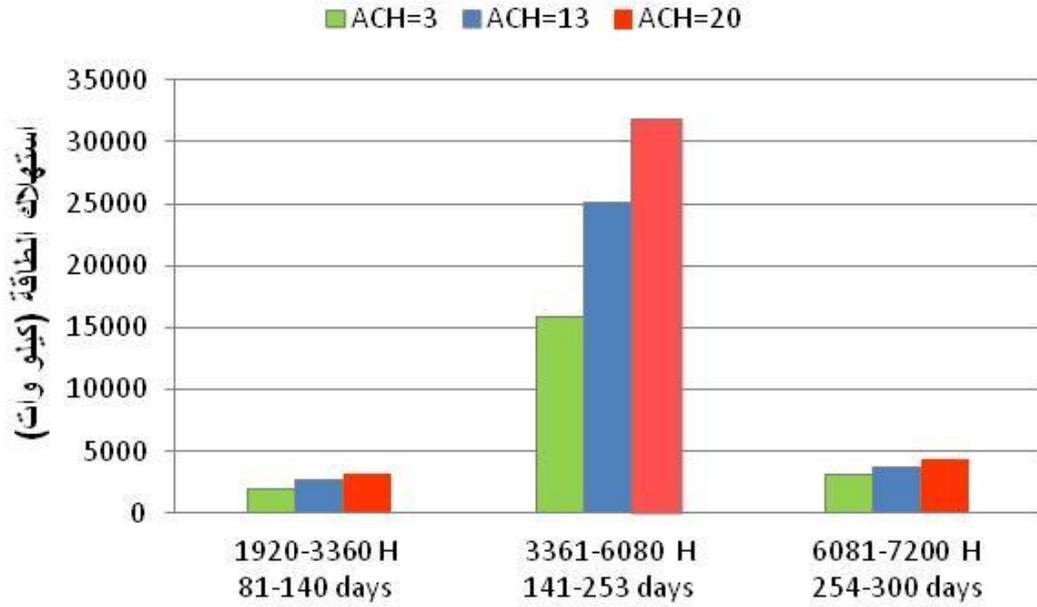
الشكل 13.6. يبرز مقارنة على أساس نسبي للإستهلاك الطاقي، فيتضح أنه في حالة الإعتماد على الحرارة القصوى للراحة " $T_{n_{sup}}$ " في برجة الترموستات الخاصة بالتكييف فإن تجاوز سرعة الهواء لعتبة 0.4 م/ثا يخفض الحمل الطاقي للتبريد بمقدار 43% خلال العام. ويزيد هذا الفارق الى 52% في حالة الإعتماد على البرجة المرتكزة على الحرارة الحيادية " T_n " الذي يقسم على ثلاثة مراحل: 82% في الفترة 1 "من اليوم 81 إلى 140" 44% في الفترة 2 "من اليوم 141 إلى 253" و72% في الفترة 3 "من اليوم 254 إلى 300".



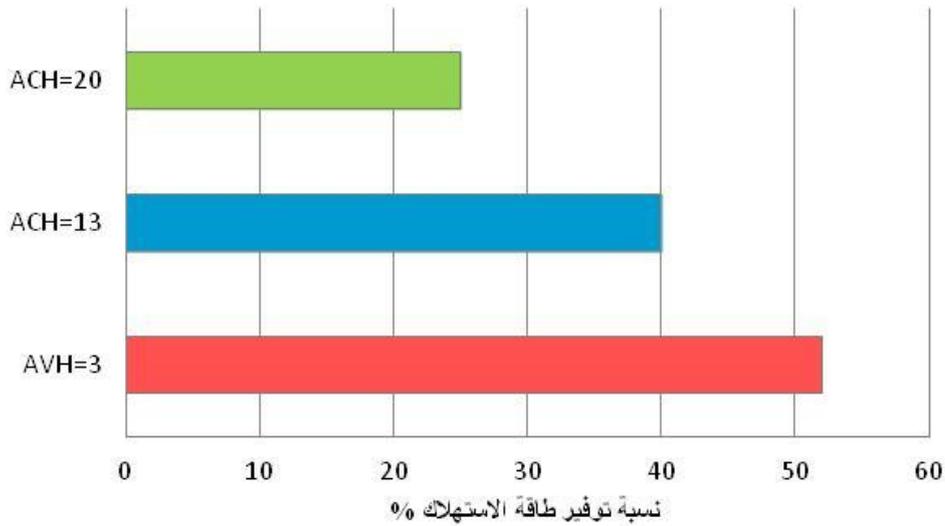
الشكل 13.6. مقارنة الاستهلاك النسبي للطاقة بالإعتماد على برجة المنظم الحراري للتكييف الآلي.

2.2.5.1. تأثير تجدد الهواء "ACH" على أحمال التبريد

الشكل 14.6. يقدم عرضاً لقيم الإستهلاك الطاقي لغرض التبريد على أساس برجة منظم الحرارة عند القيمة " $T_n = 26.7$ " في حالة توفر سرعات هواء تتجاوز 0.4 م/ثا مع تغيير قيم تجدد الهواء "ACH" بالنظر إلى الظروف المناسبة للتنفس: "ACH=3"، "ACH=13" و"ACH=20".



أ



ب

الشكل 14.6. تأثير "ACH" في الحفاظ على الطاقة في حالة سرعة الهواء أكبر من 0.4 م/ثا"
(أ) مقارنة كمية. (ب) مقارنة نسبية لتوفير الطاقة.

الشكل 14.6.أ: يوضح بأنه مع زيادة قيمة "تغيير الهواء" (ACH) بدون معالجة يزداد الإستهلاك الطاقوي حيث يصل الإستهلاك الإجمالي لكامل الفترة الحارة: 20938.3 كيلووات في حالة "ACH = 3"، 30242.1 في حالة "ACH = 13"، 39792.2 في حالة "ACH = 20". أما فيما يخص الفارق بين تأثير التغير وفق الفترات الحارة الثلاثة فلا يظهر وجود تباين ملحوظ.

الشكل 14.ب: يبين أنه مهما كان نمط التهوية المستخدم لضمان سرعة هواء أكبر من 0.4 م/ثا فإن الحفاظ على الطاقة لا يقل عن 25 % ويقدر تأثير نمط التهوية في الحفاظ على الطاقة كما يلي:

60.5 % عند "ACH = 3 v/h" (أقل قيمة ينصح بها لأجل الصحة). تتجاوز سرعة الهواء 0.4 م/ثا باستخدام المراوح أو إدخال الهواء الخارجي بعد تبريد طبيعي خفيف قبل إدخاله.

43 % عند "ACH = 13 v/h" (القيمة المتوسطة الموصى بها للتهوية لأجل الصحة). تتجاوز سرعة الهواء لعتبة 0.4 م/ثا مضمون باستخدام التهوية الطبيعية بدون تبريد.

25 % عند "ACH = 20 v/h" (أكبر قدر موصى به للتهوية الصحية) ضمان سرعة هواء تتجاوز 0.4 م/ثا باستخدام أكبر قدر من الفتحات لدخول الهواء دون معالجة.

1. حدود التبريد بالتبخير للاستفادة من حركة الهواء في الشعور بالرضا

(دراسة حركة الموائع CFD)

في المناخ الحار الجاف ذو الرطوبة النسبية الأقل من 30 %¹ أظهرت الدراسة الميدانية (في الفصلين السابقين) نتائج مجالات الإحساس الحراري المتعلقة بعتبة سرعة الهواء 0.4 م/ثا والخاصة بشعور المصلين داخل المساجد والتي بينت تأثير سرعات الهواء على دعم الإحساس بالراحة الحرارية حيث يستفيد المصلون من ظاهرة تبخر العرق للشعور بالرضا في الوسط الحراري¹ إضافة الى البعد النفسي.

ومن المعروف أن استخدام التبريد بالتبخير وسيلة فعالة لخفض حرارة الهواء بشكل كبير في المناخات الجافة خصوصا عند إدماجه مع برج الرياح الذي يوفر بيئة مناسبة لحدوث التبخير مع تدفق الهواء² ومع استخدام فكرة المياه المسترجعة في النظام باستخدام المضخات زادت كفاءة التبريد بإعتبار أن الماء بعد كل دورة يفقد حرارة أكثر فيساهم في تبريد الهواء عن طريق تيارات الحمل إضافة لآلية التبخير وهو ما جعل هذا النظام الأكثر فعالية في تبريد الهواء بالمناخ الجاف³ إلا أن تبريد الهواء باستخدام الية التبخير يزيد من قيمة الرطوبة النسبية للهواء لتتجاوز 70 % الأمر الذي يغير من طبيعة المناخ داخل الحيز المعماري مع ما يصاحب ذلك من تأثير على عملية الاستفادة من تبخر العرق للإحساس بالرضا في الوسط الحراري مما يؤثر على دقة النتائج المستخرجة من دراستنا الميدانية بإعتبار المناخ قد تغير.

¹ Liébard, A., De Herde, A. (2004). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique*, p. 58. Paris: Ed le Moniteur.

² Bouchahm, Y., Bourbia, F., Belhamri, A. (2011). Performance analysis and improvement of the use of wind tower in hot dry climate. *Renewable energy*, 36, 898-906.

³ Poshtiri, A. H., Mohabbati, S. M. (2017). "OP.cit".

لذلك عمدنا في هذه المرحلة إلى إنشاء تطبيق بإستخدام لغة البرمجة الحاسوبية "MATLAB" للتبريد يوافق نموذج الباحث "بوشتيري" (Poshtiri)¹ والذي إعتدنا في إنشائه على أعمال الباحثين "كزيوني" (Xiaoni)² و"جیلانی" (Gilani)³ وهو تطبيق يعتمد على المعادلات التفاضلية الخاصة بتغير المادة وإنتقال الحرارة إضافة إلى حركة الهواء والماء وهي معادلات تندرج ضمن ما يسمى حساب حركة الموائع "CFD" والتي ترتب كما يلي:

- معادلة تغير سرعة قطرة الماء:

$$\rho_W u_d \frac{du_d}{dz} = (\rho_W - \rho_a)g - 0.75C_d \rho_a \frac{(u_d - u_a)^2}{d_d} \dots \dots \dots (3)$$

- المعادلة التفاضلية لتغير حرارة قطرة الماء:

$$\frac{dT_W}{dz} = \frac{6h_m}{C_{PW}\rho_W u_d d_d} - [Le(i_{masW} - i_{ma}) + (1 - Le)i_v(\omega_{sW} - \omega_a)] - \frac{T_W}{m_a} \frac{dm_d}{dz} \dots \dots \dots (4)$$

- المعادلة التفاضلية لتغير معدل الرطوبة المطلقة للهواء المار في قناة التبخير العمودية بدلالة الإرتفاع:

$$\frac{d\omega_a}{dz} = \left(\frac{m_W}{m_a}\right) \frac{6h_m(\omega_{sW} - \omega_a)}{\rho_W u_d d_d} \dots \dots \dots (5)$$

- المعادلة التفاضلية لتغير المحتوى الحراري (enthalpy) لمزيج الهواء وبخار الماء في قناة التبخير العمودية بدلالة الإرتفاع:

$$\frac{di_{ma}}{dz} = \frac{dQ}{m_a} = \left(\frac{m_W}{m_a}\right) \frac{6h_m}{\rho_W u_d d_d} [(1 - Le)i_v(\omega_{sW} - \omega_a) + Le(i_{masW} - i_{ma})] \dots \dots \dots (6)$$

¹ Poshtiri, A. H., Mohabbati, S. M. (2017). Performance analysis of wind catcher integrated with shower cooling system to meet thermal comfort conditions in buildings. *Journal of Cleaner Production*, 148, 452-466

² Xiaoni, Q., Zhenyan, L., (2008). Further investigation on the performance of a cooling tower. *Energy Conversion and Management*, 49, 570-577.

³ Gilani, N., Haghighi, A. P. (2014). Heat exchanger design of direct evaporative cooler based on outdoor and indoor environmental conditions. *J. Thermal Sci. Eng. Appl.*, 6, 1-9..

A	Area (m^2)	<i>Greek symbols</i>	
ACH	Air change per hour (h^{-1})	ϕ	Scalar property (k or ϵ)
ATCL	Adaptive Thermal Comfort Line	Γ	Diffusion coefficient
B	Buoyancy force (N)	μ	Dynamic viscosity ($Pa \cdot s$)
C_d	Drag coefficient on droplet (dimensionless)	ν	Kinematic viscosity (m^2/s)
C_μ	Empirical constants in the realizable k- ϵ turbulence model	ρ	Density (kg/m^3)
C_p	Specific heat at constant pressure ($J/Kg \cdot K$)	ω	Humidity ration (kg/kg)
D	Drag force (N)	Dimensionless terms	
d_d	Diameter of droplet (m)	Le	Lewis factor ($h_a/C_p h_m$)
f_i	External body force in i^{th} direction (N/m^3)	Nu	Nusselt number ($h_a d_d/k_a$)
G	Gravity (N)	Pr	Prandtl number ($C_p \mu/k_a$)
H	Height of computational domain (m)	Re	Reynolds number $ u_d - u_a d_d/\nu$
h	Convection heat transfer coefficient ($W/m^2 K$)	Subscript	
h_m	Mass transfer coefficient (kg/sm^2)	a	Air
ISOL	ISO7730 Line	c	Convection
i_{fgw0}	Enthalpy of water at temperature of $0^\circ C$ (KJ/Kg)	fcc	Air flow in evaporative cooling channel
i_{ma}	Enthalpy of moist air (KJ/Kg)	d	Droplet
i_v	Specific vaporization enthalpy (KJ/Kg)	db	Dry bulb
k_a	Thermal conductivity of air (W/mK)	e	Evaporation
L	Distance between water nozzles and reservoir (m)	in/out	Inlet/Outlet
m	Mass or mass flow rate (Kg or Kg/s)	H	Height
N_d	Number of water droplet	ma	Moist air
Q	Heat transfer (W)	p	Point near wall cell
Q_r	Cooling demand for room (W)	r	room
RH	Relative humidity (%)	sw	Saturated water
T_m	Annual average temperature of air ($^\circ C$)	v	Vapor
T	Temperature ($^\circ C$)	W	Water
u	Velocity (m/s)	Wb	wet bulb
u^*	Dimensionless velocity		
y^*	Dimensionless wall coordinate		

الجدول 3.6. خصائص برج التبريد بالتبخير للباحث "بوشتييري".

Physical, geometric and environmental properties of proposed system.

Parameter	Size
Number of floors	2.00
Dimension of each room (x,y,z)	4.00 m \times 4.00 m \times 3.125 m
Wall thickness	0.45 m
Dimension of inlet air gate to the room (y,z)	1.00 m \times 0.20 m
Height of window (z)	1.80 m
Range of aperture of window (y)	0.05 m - 1.28 m
Dimension of wind catcher (x,y,z)	1.00 m \times 1.00 m \times 18.00 m
Dimension of inlet air gate to the wind catcher (y,z)	1.00 m \times 1.00 m
Range of wind velocity	0.20 m/s–12.80 m/s
Distance between water spraying nozzles and reservoir	6.00 m, 8.00 m and 10.00 m
Dimension of computational domain (x,y,z)	120.00 m \times 60.00 m \times 72.00 m
Velocity of water droplet leaves spraying nozzles	0.10 m/s
Initial diameter of water droplet	0.015 m
Ambient air temperature	30.00–45.00 $^\circ C$
Ambient air relative humidity	10.00–90.00%

بعد إنشاء التطبيق قمنا بمقارنته مع نتائج الباحث للتأكد من تطابق التطبيقين وتبين أنه متطابق كلياً
لأتباعنا نفس الخطوات:

الجدول 4.6. مقارنة التطبيق المنجز والتطبيق الأصلي للباحث "بوشتيري" لتأكيد التطابق.

ظروف الهواء الابتدائية		مخارج النظام الأصلي بعد 6 م (الباحث poshtiri)		مخارج النظام المنجز بعد 6 م	
درجة حرارة الهواء	الرطوبة المطلقة	درجة حرارة الهواء	الرطوبة المطلقة	درجة حرارة الهواء	الرطوبة المطلقة
30	0.00262	18.04	0.00698	18.04	0.00698
35	0.00347	24.01	0.00864	24.01	0.00864
40	0.00457	31.0	0.01233	31.0	0.01233
45	0.00595	37.03	0.01607	37.03	0.01607

وبالتالي ومن أجل الحفاظ على ملاءمة نتائج البحث الخاصة بتوظيف حركة الهواء في دعم مجال الراحة الحرارية للمناخ الحار الجاف والإستفادة من آلية التبريد بالتبخير في نفس الوقت قمنا بإنشاء جدول يحوي ظروف الهواء الخارجي وحدود التبريد المسموح بها لإبقاء الرطوبة النسبية في حدود 30 % كحد أعلى للمناخ الحار الجاف¹ و 40 % كهامش للمناخ الشبه الجاف مع الإشارة إلى إرتفاع الجزء الخاص بالتبريد من البرج (خارج إهتمام الدراسة). وإتضح مايلي:

¹ Liébard, A., De Herde, A. (2004). « OP.cit », p. 58.

الجدول 5.6. حدود استخدام التبريد بالتبخير للإستفادة من سرعة الهواء لدعم الراحة الحرارية.

ظروف الهواء الخارجي			حدود تبريد الهواء بالتبخير لملاءمة إستخدام سرعات الهواء لتحسين الراحة (باعتبار 30 % هي أعلى قيمة للرطوبة النسبية)			حدود تبريد الهواء بالتبخير لملاءمة إستخدام سرعات الهواء لتحسين الراحة (باعتبار 40 % هي أعلى قيمة للرطوبة النسبية)		
حرارة الهواء °م	الرطوبة النسبية %	الرطوبة المطلقة (كلغ/كلغ)	حرارة الهواء	الرطوبة المطلقة (كلغ/كلغ)	إرتفاع نفق التبخير (م)	حرارة الهواء	الرطوبة المطلقة (كلغ/كلغ)	إرتفاع نفق التبخير (م)
30	10	0.0026	23.95	0.0054	2.76	21.57	0.0062	4.2
	20	0.0052	26.5	0.0064	1.50	23.8	0.0071	2.9
35	10	0.0034	28	0.0071	3.24	25.42	0.0081	4.8
	20	0.0069	30.9	0.0084	1.8	27.7	0.0093	3.6
38	10	0.0040	30.5	0.0082	3.36	27.8	0.0092	5.04
	20	0.0082	33.5	0.0098	1.68	30.63	0.0107	3.24
39	10	-	-	-	-	31.16	0.0011	3.48

الحد الأعلى لحرارة الهواء.

سيتمد تحليل النتائج على أساس أن سرعة الهواء الداخلية لا تقل عن 0.4 م/ثا داخل الحيز المعماري.
وبالتالي تقييم تأثير الحرارة وفق الظروف الخارجية والحد المطلوب في مخرج النظام:

- حرارة الهواء الخارجي 30°م والرطوبة النسبية 10 %:

باعتبار 30 % هي أعلى قيمة مسموح بها للرطوبة النسبية: يوفر النظام وفق هذه الظروف حرارة هواء مقدارها 23.95°م عند مخرج النفق وهي ملائمة للتبريد بشكل مثالي بإعتبار الحرارة المثالية للراحة الحرارية تساوي 26.7°م.

باعتبار 40 % هي أعلى قيمة مسموح بها للرطوبة النسبية: يوفر النظام وفق هذه الظروف حرارة هواء مقدارها 21.57°م عند مخرج النفق وهي ملائمة للتبريد بشكل مثالي بإعتبار الحرارة المثالية للراحة الحرارية تساوي 26.7°م.

- حرارة الهواء الخارجي 30°م والرطوبة النسبية 20 %:

باعتبار 30 % هي أعلى قيمة مسموح بها للرطوبة النسبية: يوفر النظام وفق هذه الظروف حرارة هواء مقدارها 26.5°م عند مخرج النفق وهي ملائمة للتبريد بشكل مثالي بإعتبار الحرارة المثالية للراحة الحرارية تساوي 26.7°م.

باعتبار 30 % هي أعلى قيمة مسموح بها للرطوبة النسبية: يوفر النظام وفق هذه الظروف حرارة هواء مقدارها 23.8°م عند مخرج النفق وهي ملائمة للتبريد بشكل مثالي بإعتبار الحرارة المثالية للراحة الحرارية تساوي 26.7°م.

- حرارة الهواء الخارجي 35°م والرطوبة النسبية 10 %:

باعتبار 30 % هي أعلى قيمة مسموح بها للرطوبة النسبية: يوفر النظام وفق هذه الظروف حرارة هواء مقدارها 28.0°م عند مخرج النفق وهي ملائمة للتبريد بإعتبار الحرارة القصوى لمجال الراحة الحرارية تساوي 31.0°م.

باعتبار 40 % هي أعلى قيمة مسموح بها للرطوبة النسبية: يوفر النظام وفق هذه الظروف حرارة هواء مقدارها 25.42°م عند مخرج النفق وهي ملائمة للتبريد بشكل مثالي بإعتبار الحرارة المثالية للراحة الحرارية تساوي 26.7°م.

- حرارة الهواء الخارجي 35°م والرطوبة النسبية 20 %:

باعتبار 30 % هي أعلى قيمة مسموح بها للرطوبة النسبية: يوفر النظام وفق هذه الظروف حرارة هواء مقدارها 30.9°م عند مخرج النفق وهي تماثل الحد الأقصى لمجال الراحة الحرارية 31.0°م (حدود نظام التبريد بالتبخير).

باعتبار 40 % هي أعلى قيمة مسموح بها للرطوبة النسبية: يوفر النظام وفق هذه الظروف حرارة هواء مقدارها 27.7°م عند مخرج النفق وهي ملائمة للتبريد بإعتبار الحرارة القصوى لمجال الراحة الحرارية تساوي 31.0°م.

- حرارة الهواء الخارجي 38°م والرطوبة النسبية 10 %:

باعتبار 30 % هي أعلى قيمة مسموح بها للرطوبة النسبية: يوفر النظام وفق هذه الظروف حرارة هواء مقدارها 30.9°م عند مخرج النفق وهي تماثل الحد الأقصى لمجال الراحة الحرارية 31.0°م (حدود نظام التبريد بالتبخير).

باعتبار 40 % هي أعلى قيمة مسموح بها للرطوبة النسبية: يوفر النظام وفق هذه الظروف حرارة هواء مقدارها 27.8°م عند مخرج النفق وهي ملائمة للتبريد بإعتبار الحرارة القصوى لمجال الراحة الحرارية تساوي 31.0°م.

- حرارة الهواء الخارجي 38°م والرطوبة النسبية 20 %:

باعتبار 30 % هي أعلى قيمة مسموح بها للرطوبة النسبية: نظام التبريد بالتبخير غير ملائم وفق هذه الظروف حي تبلغ الحرارة عند مخرجه 33.5°م وهي أكبر من الحرارة القصوى للراحة 31°م.
باعتبار 40 % هي أعلى قيمة مسموح بها للرطوبة النسبية: يوفر النظام وفق هذه الظروف حرارة هواء مقدارها 30.63°م عند مخرج النفق وهي تماثل الحد الأقصى لمجال الراحة الحرارية 31.0°م (حدود نظام التبريد بالتبخير).

- حرارة الهواء الخارجي 39°م والرطوبة النسبية 10 %:

باعتبار 30 % هي أعلى قيمة مسموح بها للرطوبة النسبية: نظام التبريد بالتبخير غير ملائم.

باعتبار 40 % هي أعلى قيمة مسموح بها للرطوبة النسبية: يوفر النظام وفق هذه الظروف حرارة هواء مقدارها 30.63°م عند مخرج النفق وهي تماثل الحد الأقصى لمجال الراحة الحرارية 31.0°م (حدود نظام التبريد بالتبخير).

وبناء على ما سبق يتضح بأن استخدام التبريد بالتبخير يتوقف على ظروف الهواء الخارجي وكذلك متطلبات البيئة الحرارية الداخلية والذي يلخص كما يلي:
من أجل رطوبة نسبية داخلية لا تتجاوز 30 %:

- درجة الحرارة الخارجية 35°م هي أعلى قيمة لاستخدام نظام التبريد بالتبخير في حالة الرطوبة النسبية للهواء الخارجي تساوي 20 %.
 - درجة الحرارة الخارجية 38°م هي أعلى قيمة لاستخدام نظام التبريد بالتبخير في حالة الرطوبة النسبية للهواء الخارجي تساوي 10 %.
- من أجل رطوبة نسبية داخلية لا تتجاوز 40 %:

- درجة الحرارة الخارجية 38°م هي أعلى قيمة لاستخدام نظام التبريد بالتبخير في حالة الرطوبة النسبية للهواء الخارجي تساوي 20 %.
- درجة الحرارة الخارجية 39°م هي أعلى قيمة لاستخدام نظام التبريد بالتبخير في حالة الرطوبة النسبية للهواء الخارجي تساوي 10 %.

ملاحظة:

يمكن خفض حرارة الهواء أكثر مع عدم تحميله برطوبة أكثر من خلال استخدام السعة الحرارية للأرض.

3. أهمية النتائج في توفير بيئة حرارية صحية

تنتج الصدمة الحرارية كنتيجة لتعرض الشخص إلى تغيرات مفاجئة في درجات الحرارة ولتجنب ذلك يتم الانتقال بين مستويات درجات الحرارة تدريجياً^{1, 2}.

بالنظر إلى عدة أبحاث وتوصيات طبية إهتمت بمخاطر استخدام تبريد المباني بشكل غير عقلائي والتي خلصت إلى التنبيه بضرورة تجنب الفارق الحراري بين المحيط الخارجي والوسط الداخلي بأكثر من 10° م بصورة مفاجئة لأثره السلبي على الصحة وفق ما يسمى بظاهرة الصدمة الحرارية التي تؤثر خصوصاً على كبار السن والمصابون بالأمراض (أمراض القلب والأوعية الدموية، أمراض المفاصل، أمراض الجهاز التنفسي، داء السكري والذين يعانون من السمنة). كما يرفع ذلك من خطر الإصابة بنزلات البرد المرتبطة بانخفاض حرارة الجسم بشكل سريع^{3, 4, 5}. ويؤكد الباحثون في علم الفيزيولوجيا البشرية أن تقسيم الفارق الحراري إلى أزمنة بحيث لا تقل الفترة الانتقالية عن 30 ثانية يعمل على تجنب حدوث الصدمة الحرارية⁶.

لذلك ولأجل تجنب مخاطر الفارق الحراري الكبير بين الخارج والداخل يجب على المصمم المعماري منح جسم المستخدم فرصة للتأقم التدريجي مع الفوارق التي تتجاوز 10° م من خلال مروره عبر فترات زمنية حرارية إنتقالية.

¹ Guillemet, G. Guy-Coichard, C. (2016). Principios de tratamiento del dolor crónico. *Encyclopidie Médico Chirurgical- Kinesiterapia Medicina Fisica - Elsevier Masson SAS*, 37(3), 1-12.

² Guillemet, G. Guy-Coichard, C. (2017). Le manuel du résident kinésithérapie médecine physique-réadaptation. Edition 2017, p. 1086. *Encyclopidie Médico Chirurgical - Elsevier Masson*.

³ Roger, S., Carré, M. (2006). Améliorer le confort d'été dans les établissements pour personnes âgées et handicapées. *Guide pratique Pour les gestionnaires d'établissements sociaux et médico-sociaux*, Retrieved February 05, 2019, from site https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/62539_guide-confort-dete.pdf

⁴ E-sante.fr. (August 19, 2016). Quels sont les vrais risques de la climatisation. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. Retrieved November 24, 2018, from <http://www.e-sante.fr/quels-sont-vrais-risques-climatisation/actualite/983?page=0%2C1>

⁵ Dr Cardenas, J. (June 21, 2017). *Climatisation et santé : les précautions d'usage*. Retrieved December 24, 2018, from <http://www.doctissimo.fr/html/dossiers/travail/articles/13735-risques-climatisation.htm?fbclid=IwAR1zvy7QTXzMG77aB7ZOX4sM8YHn0ewZkoEKLd-8zg8SvIh14A0aoOWgFI>

وعلى هذا الأساس أنشأنا الجدول 3.6. لمقارنة تأثير مجالي الراحة الحرارية (الناجمة من الدراسة الميدانية للبحث بالنظر لسرعات الهواء الداخلي) على نسبة عدم الرضا في حين تم تسقيف الفارق الحراري بين الداخل والخارج بقيمة 10°م.

50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35
40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25
72,5	67	61,7	56,3	50,9	45,4	40	34,9	30	25,6	21,5	17,9	14,7	12	9,7	7,9
52,7	46,5	40,2	34,5	29,1	24,2	19,8	16	12,7	10	7,9	6,4	5,4	5	0	0

.(% 1

.(% 2

.(% 20

سرعة الهواء أقل من 0.4 م/ثا:

- لتوفير الحد الأعلى لمجال الراحة الحرارية لبيئة صحية بدون إستخدام مجال حراري إنتقالي يجب أن لا تتجاوز الحرارة الخارجية 36°م.
- لتوفير الحد الأعلى لمجال الراحة المقبولة لبيئة صحية بدون إستخدام مجال حراري إنتقالي يجب أن لا تتجاوز الحرارة الخارجية 40°م.

سرعة الهواء تساوي أو تتجاوز 0.4 م/ثا:

- لتوفير الحد الأعلى لمجال الراحة الحرارية لبيئة صحية بدون إستخدام مجال حراري إنتقالي يجب أن لا تتجاوز الحرارة الخارجية 41°م.
- لتوفير الحد الأعلى لمجال الراحة المقبولة لبيئة صحية بدون إستخدام مجال حراري إنتقالي يجب أن لا تتجاوز الحرارة الخارجية 44°م.

من خلال قراءة الجدول 3.6. إتضح أنه عند تجاوز درجة الحرارة الخارجية ل: 36°م فإن تحقيق بيئة صحية (فارق 10°م بين الداخل والخارج بأية طريقة للتبريد) سيكون غير مرضي لأكثر من 10 % ثم تتجاوز هذه النسبة 20 % بتجاوز الحرارة الخارجية ل: 39.5°م.

في حين أن نسبة عدم الرضى بالوسط الحراري الصحي تتجاوز 10 % عند تجاوز الحرارة الخارجية 42°م وتصل النسبة لأكثر من 20 % بعد تسجيل الحرارة الخارجية لقيم أكبر من 44°م.

وتجدر الإشارة إلى أن توفير جو حراري صحي ومريح في آن واحد عند الحرارة الخارجية 48°م يمكن تحقيقه من خلال تهيئة خارجية قادرة على خفض درجة الحرارة على مستوى المناخ المصغر بمقدار 7°م لمسافة مشي تتجاوز 30 ثا (في حالة سرعة هواء داخلي تتجاوز 0.4 م/ثا).

وهو أمر متعذر في حالة سرعات الهواء الداخلية الأقل من 0.4 م/ثا والتي تحتاج خفضا يتجاوز 12°م عند نفس الحرارة الخارجية السابقة.

خلاصة

أبرز هذا الفصل الأهمية الكبيرة لنتائج الدراسة الميدانية حول تأثير سرعة الهواء على مجالات الإحساس بالراحة الحرارية في المناخ الحار الجاف، في خفض الإستهلاك الطاقوي لغرض التبريد بالنظر إلى تأثير معدل تجديد الهواء .

حيث أن توفير سرعة هواء داخلي تتجاوز 0.4 م/ثا بأي نمط تهوية متوفر من شأنه خفض من أحمال الطاقة للتبريد وفقا لقيم تغير حجم الهواء الساعي "ACH" وذلك كما يلي:

25 % في حالة "ACH = 20".

43 % في حالة "ACH = 13".

60.5 % في حالة "ACH = 3".

هذه النتائج ذات الأهمية الواضحة في التقليل من التكاليف الإقتصادية والبيئية، يمكن توظيفها في التحكم الطاقوي بالمساحد الموجودة ضمن نطاق المناخ الحار الجاف من خلال إستحداث منظم حراري متعلق بسرعة الهواء باعتبار "0.4 م/ثا" هي العتبة، كما يمكن إعتبارها مرجعا لتقييم التصاميم المستقبلية عن طريق المحاكاة قبل تنفيذها، ويندرج كل هذا في سياق احترام مبادئ الاسلام الداعية لإحترام البيئة ونبد الإسراف.

كما حدد البحث حدودا لإستخدام التبريد بالتبخير مع الإحتفاظ بخاصية التبريد عن طريق تبخر العرق وهذا يندرج في سياق حصر ظروف البيئة الحرارية من أجل دقة نتائج وتوصيات الدراسة الميدانية وذلك كما يلي:

من أجل رطوبة نسبية داخلية لا تتجاوز 30 %:

- درجة الحرارة الخارجية 35°م هي أعلى قيمة لإستخدام نظام التبريد بالتبخير في حالة الرطوبة النسبية للهواء الخارجي تساوي 20 %.

- درجة الحرارة الخارجية 38°م هي أعلى قيمة لإستخدام نظام التبريد بالتبخير في حالة الرطوبة النسبية للهواء الخارجي تساوي 10 %.

من أجل رطوبة نسبية داخلية لا تتجاوز 40 %:

- درجة الحرارة الخارجية 38°م هي أعلى قيمة لإستخدام نظام التبريد بالتبخير في حالة الرطوبة النسبية للهواء الخارجي تساوي 20 %.

- درجة الحرارة الخارجية 39°C هي أعلى قيمة لإستخدام نظام التبريد بالتبخير في حالة الرطوبة النسبية للهواء الخارجي تساوي 10 %.

وقد تبين كذلك بأن توفير سرعة هواء أكبر من 0.4 م/ثا من شأنه توفير بيئة حرارية مريحة وصحية بإستخدام وسائل التبريد المختلفة في المناطق التي لا تتجاوز الحرارة الخارجية بها 41°C وفي حالة تجاوز هذه القيمة يمكن استخدام التهئة الخارجية كمسار للمشبي ل: 30 ثانية قبل دخول القاعة والذي يتطلب خفضا حراريا لا يتجاوز 7°C في حالة الحرارة الخارجية 48°C . الأمر الذي لا يمكن توفيره في حالة سرعات الهواء الأقل من 0.4 م/ثا والتي تطلب خلق حيز معماري مغلق لتوفير مجال إنتقالي بفارق 12°C عند نفس الحرارة الخارجية 48°C .

خلاصة عامة

خلاصة عامة

تعتبر المساجد أقدم العمائر الإسلامية وأكثر المباني إرتباطا بالإسلام، حيث يتجاوز دور المسجد كونه مكانا للعبادة إلى كونه مدرسة ومنبرا لنشر الثقافة الدينية والدينية. وهو ما يمنح المسجد دورا محوريا في العديد من مظاهر الحياة الاجتماعية والثقافية، الأمر الذي يستلزم على المعمارين توظيفه لأجل نشر القيم المعمارية والبيئية السليمة.

ومن هذا المنطلق إستعرض **الفصل الأول** مدى تبني العمارة البيئية في تصميم المساجد، باعتبار التصميم البيئي هو أحد مظاهر الحفاظ على البيئة ونبذ الإسراف. وهي قيم يتبناها الفكر الإسلامي ضمن مجموعة من القواعد الفقهية. أما من الناحية التقنية فقد ركز نفس الفصل على تأثير المناخ الحار في تصميم المساجد، سواء تعلق الأمر بالعناصر الأساسية التي جرى تكييفها مثل الصحن، أو العناصر المضافة مثل أبراج الرياح.

وهو الأمر الذي تفتقد له معظم تصاميم المساجد في وقتنا الحالي، ما أدى إلى إستنزاف كم هائل للطاقة الضرورية للتبريد باعتبار معظم العالم الإسلامي يقع ضمن نطاق المناخ الحار. خصوصا مع غياب فهم مناسب ودراسة دقيقة للراحة الحرارية للمصلين. وبناء عليه أورد الفصل الثاني مفهوم الراحة الحرارية والدراسات المنجزة في هذا السياق.

في **الفصل الثاني** تم إستعراض أهم المفاهيم والعوامل المؤثرة على الراحة الحرارية داخل المبنى، بالنظر إلى تسلسل الدراسات المهمة بتقييم الراحة الحرارية، وأورد لذلك تسلسلا زمنيا لتطور المؤشرات الخاصة بالتقييم وصولا إلى أهم المؤشرات المستخدمة داخل المباني وهي مؤشرات الإحساس الحراري والتي تصنف نتائجها على سلم من 7 درجات مما يمنحها دقة في تقييم الراحة الحرارية التي تأخذ بالحسبان تأثير العوامل البيئية والعوامل الذاتية للمستخدمين. مؤشر معدل توقع نسبة التصويت (PMV) ومعدل توقع نسبة عدم الرضا (PPD) ويعتمد في حسابهما على نموذجين مختلفين كما يلي:

- النموذج العقلاني ASHRAE 55/2013, ISO 7730 المعتمد على قياس العوامل البيئية وبعض الخصائص الذاتية لشاغلي الحيز.

- النموذج الذاتي ASHRAE 55/2013, ISO 10551 باعتباره الأكثر واقعية والأقرب لخصوصية المستخدمين ونشاطاتهم. حيث يعتمد على توزيع الاستبيانات لحالات واقعية.

فأورد لذلك وصفا دقيقا لأهم مميزات كل من النموذجين وكيفية إجراء الدراسة الميدانية باستخدامهما. ثم التطرق إلى بعض أهم الدراسات المبينة على أساس المقارنة بين النموذجين كأساس للدراسة الميدانية وذلك من أجل إستخراج درجة تأثير كل عامل من العوامل الذاتية سواء اللباس أو السن أو الجنس وكذلك تأثير مناخ المنطقة إضافة إلى تأثير عوامل البيئة الحرارية الداخلية من درجة حرارة الهواء والرطوبة وصولا إلى تأثير سرعة الهواء وهي موضوع الدراسة.

في حين أن الدراسات المهمة بدراسة الراحة الحرارية للمصلين في مباني المساجد بالمناخ الحار الجاف وعلى قلتها قد عاجلت مباني ذات تكييف آلي ولم تدرس المباني ذات التهوية الطبيعية. كما غابت الدراسات التي تتطرق لتأثير سرعة الهواء على مجالات الراحة الحرارية في مباني المساجد بشكل عام.

ولغرض فهم تأثير سرعة الهواء في التخلص من الإجهاد الحراري للمصلين في مساجد المناخ الحار الجاف، باعتبار سرعة الهواء أحد العناصر الأربعة المميزة للبيئة الحرارية (حرارة الهواء، الرطوبة النسبية للهواء، الحرارة الإشعاعية، سرعة الهواء). حيث تتوقف الراحة الحرارية للمستخدم عن مدى تأقلمه مع التفاعل الكلي لهذه العناصر، مع ما يرافق ذلك من شعور ذهني بالرضا. لذلك قمنا في **الفصل الثالث** بعرض أهم المفاهيم والعوامل المؤثرة على البيئة الحرارية وأهم العناصر المؤثرة في الأداء الحراري للمبنى، سواء تعلق الأمر بالموقع أو الغلاف بمختلف خصائصه، إضافة إلى مصادر الريح الحراري الداخلي، هذه الأخيرة ذات الأهمية الكبيرة في حالة المساجد نظرا للكثافة العالية للمستخدمين (المصلين).

في حالة أي خلل في أداء البيئة الحرارية بالمرحلة الصيفية، يلجأ البناء إلى إستخدام التكييف الآلي مع ما يصاحبه من تكاليف إقتصادية تؤثر على الثروة والتنافسية للمجتمع والدولة، وتبعات بيئية تؤثر على الصحة والإستدامة جراء غازات الدفيئة بسبب إستهلاك الطاقة الأحفورية وكذا تأثير الغازات المستخدمة في تشغيل أجهزة التكييف.

كما اورد الفصل إشارة إلى الأضرار الصحية المباشرة جراء إستخدام التكييف بشكل غير مدروس خصوصا لفئة كبار السن والمصابون بالأمراض التنفسية والأوعية الدموية والمفاصل إضافة إلى من يعانون السمنة وأمراض السكري وهو ما يعني بالضرورة فئة كبيرة من شاغلي المساجد وحدد لذلك بحسب المراجع المعتمدة فارق حراري لا يتجاوز 10°م لتفادي المشاكل الصحية.

كما أورد نفس الفصل تفصيلا عن أنماط التهوية الطبيعية والعناصر المعمارية المؤثرة في تدفق الهواء الخارجي إلى البيئة الداخلية، إنطلاقا من موقع البناء ووصولا إلى أبعاد ومواقع الفتحات الأفقية منها والعمودية.

إضافة إلى أساليب تبريد الهواء قبل ادخاله خصوصا التبريد بالتبخير باعتباره الأكثر كفاءة في خفض درجات حرارة الهواء في المناخ الحار الجاف إضافة إلى كونه الأكثر إنتشارا منذ العماائر القديمة في ذات المناخ. فأورد الفصل في ذلك شرحا لكيفية الإستفادة من ظاهرة التبخير في التبريد وكيفية الإستفادة بشكل مثالي من ذلك إلا أن ذلك يصطدم بحقيقة تأثير هذه الآلية في التبريد على عامل الرطوبة النسبية للهواء وما يصاحب ذلك من تأثير سلبي على تبريد الجلد بالتبخير عند إقتراب الهواء من درجة التشبع بالرطوبة وهي نقطة أغفلت بشكل كبير في الأبحاث المهمة بهذا النوع من التبريد.

إنطلاقا من هذا الكم من المفاهيم وبالنظر إلى مواطن النقص التي أستخرجت من تتبع الدراسات والأبحاث ذات الصلة، قمنا في الجزء التطبيقي بدراسة تأثير حركة الهواء على مجالات الراحة الحرارية للمصلين في مساجد المناخ الحار الجاف باستخدام مؤشر الاحساس الحراري باعتباره الأنسب لتقييم الراحة الحرارية داخل البيئة المعمارية حيث يأخذ بالحسبان مختلف العوامل البيئية والذاتية.

وتمت الدراسة الميدانية وفق النموذجين: الذاتي لمؤشرات الإحساس الحراري وفق توجيهات ASHRAE 55/2013, ISO 10551 ممثلة في معدل توقع نسبة التصويت (PMV) و توقع نسبة عدم الرضا (PPD) ومقارنتها مع نتائج النموذج العقلائي لنفس المؤشرات بالنظر إلى ASHRAE 55/2013, ISO 7730 لأجل إيجاد أية علاقة محتملة بين النموذجين وكذلك فهم أية فوارق بينهما.

أما بخصوص حالة الدراسة فلها ما يبررها إنطلاقا من طبيعة المناخ الحار الجاف لمدينة الدراسة (وادي سوف بالجنوب الشرقي الجزائري). والتبرير التاريخي باعتبار النموذج له خلفية تاريخية في إقليم الدراسة وهو ما يمنح النتائج صفة الشمولية. إضافة إلى أن عينات الدراسة (المصلين). يمثلون مجتمع المنطقة تمثيلا صادقا بحكم موقع المسجد إضافة إلى لباسهم الموحد خلال كامل الفترة الحارة من العام.

كما أن حالة الدراسة تتوفر على قبة متحركة وأروقة توفر الظلال على مستوى النوافذ المتعددة، منح الدراسة القدرة على تنويع سيناريوهات حركة الهواء بشكل كبير، الأمر الذي أعطى البحث بعدا مخبريا لعينات واقعية في بيئتها. وبالتالي الجمع بين إيجابيات الدراسة الميدانية في كونها واقعية من حيث ظروفها البيئية والذاتية بالإضافة الى إيجابيات الدراسة المخبرية ممثلة في تثبيت أكبر عدد ممكن من العوامل البنائية التي يمكن أن تؤثر على الشعور الذهني مع التحكم في سيناريوهات حركة الهواء والحرارة من خلال تغير الوقت والتحكم في الفتحات.

وقد تطرق الفصل الخامس الى نتائج هذه الدراسة بشكل مفصل مع تحليلها بشكل دقيق لتحديد تأثير سرعة الهواء على مجالات الراحة الحرارية للمصلين في مساجد المناخ الحار الجاف، والتي كانت وفق مجالين متباينين:

- " $V_{air} < 0.4 \text{ m/s}$ ". في هذا المجال يكون المصلون أكثر حساسية إتجاه إرتفاع درجات الحرارة من توقع النموذج العقلاني، وهو ما يؤكد على عدم ملاءمة هذا الأخير لتقييم الإحساس الحراري في مساجد المناخ الحار الجاف. ما يستدعي توسيع مفهوم الراحة الحرارية لتشمل خصوصية بعض الأنشطة كالصلاة، والتي تؤدي في ظروف كثافة عالية تصل إلى 1.2 شخص/م² بالإضافة الى محدودية الحركة.

- " $V_{air} \geq 0.4 \text{ m/s}$ ". عند هذا المجال تكون نسبة عدم الرضا للمصلين بالوسط الحراري في الواقع أعلى من النسبة المتوقعة من قبل النموذج العقلاني. مع الإشارة إلى أن مجال الإحساس بالراحة الحرارية للنموذج العقلاني محتوى داخل نفس المجال للنموذج الواقعي، وهو ما يسمح باستخدام النموذج العقلاني لتقييم الإحساس الحراري مع هامش من المبالغة في التبريد والذي يمكن أن يؤثر على إستهلاك الطاقة. وقد استخرج من الدراسة الميدانية علاقة نسبة التصويت الحقيقية (AMV) مقارنة بالحرارة الفعالة (To) وفق مجالي سرعات الهواء المذكورة سابقا (باعتبار 0.4 م/ثا هي العتبة)، وهي كما يلي:

$$AMV = \begin{cases} 0.1025T_o - 2.1895 & (R^2 = 0.8274) \text{ for } v_{air} < 0.4 \text{ m/s} & (1) \\ 0.1159T_o - 3.102 & (R^2 = 0.8545) \text{ for } v_{air} \geq 0.4 \text{ m/s} & (2) \end{cases}$$

وتشير هذه المعادلات إلى أن 90 % من المستخدمين يرون بأن الحرارة الفعالة 31.0م[°] مريحة، و 80 % صوتوا بأن 35.3م[°] هي حرارة يمكن تقبلها عند السرعات " $V_{air} \geq 0.4 \text{ m/s}$ ". في حين أن درجة الحرارة المريحة لم تتجاوز 26.2م[°] والحرارة المحتملة لم تتخطى و 31.1م[°] عند سرعات الهواء الأقل من 0.4 م/ثا.

وبهدف تقييم تأثير النتائج المستخرجة من الدراسة الميدانية على إستهلاك طاقة التبريد قمنا في الفصل السادس باستخدام برنامج المحاكاة "EDSL-TAS.9.4.3" واتضح بعد التأكيد على ملاءمة البرنامج والنموذج لمحاكاة الواقع، بأن هناك أهمية كبيرة لنتائج الدراسة على الإستهلاك الطاقوي، حيث أن توفير سرعات الهواء الداخلي لأكثر من 0.4 م/ثا من شأنه الخفض من أحمال الطاقة للتبريد بالنظر إلى معدل تغير الهواء كما يلي:

$$ACH = 20 \text{ في حالة } 25\%$$

$$ACH = 13 \text{ في حالة } 43\%$$

$$ACH = 3 \text{ في حالة } 60.5\%$$

هذه النتائج ذات الأهمية الواضحة في التقليل من التكاليف الاقتصادية والبيئية، يمكن توظيفها في التحكم الطاقوي بالمساجد الموجودة ضمن نطاق المناخ الحار الجاف من خلال إستحداث منظم حراري متعلق بسرعة الهواء بإعتبار 0.4 م/ثا هي العتبة، كما يمكن إعتبارها مرجعا لتقييم التصاميم المستقبلية عن طريق المحاكاة قبل تنفيذها، ويندرج كل هذا في سياق إحترام مبادئ الاسلام الداعية لإحترام البيئة ونبد الإسراف. كما حدد البحث حدودا لإستخدام التبريد بالتبخير مع الحفاظ على خاصية التبريد عن طريق تبخر العرق وهذا يندرج في سياق حصر ظروف البيئة الحرارية من أجل دقة نتائج وتوصيات الدراسة الميدانية وذلك كما يلي:

من أجل رطوبة نسبية داخلية لا تتجاوز 30 %:

- درجة الحرارة الخارجية 35°م هي أعلى قيمة لإستخدام نظام التبريد بالتبخير في حالة الرطوبة النسبية للهواء الخارجي تساوي 20 %.

- درجة الحرارة الخارجية 38°م هي أعلى قيمة لإستخدام نظام التبريد بالتبخير في حالة الرطوبة النسبية للهواء الخارجي تساوي 10 %.

من أجل رطوبة نسبية داخلية لا تتجاوز 40 %:

- درجة الحرارة الخارجية 38°م هي أعلى قيمة لإستخدام نظام التبريد بالتبخير في حالة الرطوبة النسبية للهواء الخارجي تساوي 20 %.

- درجة الحرارة الخارجية 39°م هي أعلى قيمة لإستخدام نظام التبريد بالتبخير في حالة الرطوبة النسبية للهواء الخارجي تساوي 10 %.

وقد تبين كذلك بأن توفير سرعة هواء أكبر من 0.4 م/ثا من شأنه توفير بيئة حرارية مريحة وصحية في الوقت ذاته بإستخدام وسائل التبريد المختلفة في المناطق التي لا تتجاوز الحرارة الخارجية بها 41°م وفي حالة تجاوز هذه القيمة يمكن إستخدام التهئة الخارجية كمسار المشي ل: 30 ثانية قبل دخول القاعة والذي يتطلب خفضا حراريا لا يتجاوز 7°م في حالة الحرارة الخارجية 48°م.

الأمر الذي لا يمكن توفيره في حالة سرعات الهواء الأقل من 0.4 م/ثا والتي تتطلب خلق حيز معماري مغلق لتوفير مجال إنتقالي بفارق 12°م عند نفس الحرارة الخارجية 48°م.

التوصيات

- في مساجد المناخ الحار الجاف ومن أجل راحة المصلين بعيدا عن الإسراف في إستهلاك الطاقة، المؤدية للإعتداء على البيئة، مع ما يصاحبها من تكاليف إقتصاديّة تظهر الضرورة الملحة لتوفير سرعة هواء داخلي لا تقل عن عتبة 0.4 م/ثا حيث توفر هذه السرعات خفضا في أحمال التبريد تصل إلى 60.5%.
- وقد حدد البحث حدودا لإستخدام التبريد بالتبخير مع الإحتفاظ بخاصية التبريد عن طريق تبخر العرق وهذا يندرج في سياق حصر ظروف البيئة الحرارية من أجل دقة نتائج وتوصيات الدراسة الميدانية. حيث لا تتجاوز كفاءة إستخدام التبريد بالتبخير في الظروف القصوى 39°م كقيمة للحرارة الخارجية وهي بمثابة تأكيد على ضرورة التزواج بين نظام التبخير وإستخدام العطالة الحرارية لسطح الأرض.
- في حالة المناخ الحار الجاف وجب دراسة التهيئة الخارجية لخفض الحرارة الخارجية المحيطة بمقدار 7°م كأكبر فارق حراري في حالة الحرارة الخارجية 48°م وذلك لمسافة مشي مدتها 30 ثانية بالتزامن مع توفير حركة هواء داخلية تتجاوز 0.4 م/ثا وذلك لتأمين جو صحي عند إستخدام أية وسيلة للتبريد الداخلي.

آفاق مستقبلية للبحث

- ضرورة دراسة أنسب تصميم قادر على ضمان حركة هواء تتجاوز 0.4 م/ثا دون الاعتماد على حركة الرياح الغير مستقرة.
- ضرورة دراسة تأثير المناخ الحار الرطب على الاحساس الحراري وذلك بهدف إيجاد كتيب توجيهات شامل للراحة الحرارية بالمساجد بالمناخ الحار.

المراجع

Bibliography

Articles:

- Abdallah, A. S. H. (2015). Analysis of thermal comfort and energy consumption in long time large educational halls (studios). *Procedia engineering*, 121, 1674-1681. Assiut: Assiut university.
- Agha, R. (2015). Traditional Environmental Performance: The Impact of Active Systems upon the Courtyard House Type- Iraq. *Journal of Sustainable Development*, 8, pp. 28.
- Al-ajmi, F. F. (2010). Thermal comfort in air-conditioned mosques in the dry desert climate. *Building and Environment*. 45, 2407-2413.
- Al-ajmi, F. F., Loveday D. L. (2010). Indoor thermal conditions and thermal comfort in air-conditioned domestic buildings in the dry-desert climate of Kuwait. *Building and Environment*, 45, 704-710.
- Al-ajmi, F. F., Al-azmi, A. S., Alrashidi F. A. (2017). Indoor Environmental Quality in Air-conditioned Mosque Buildings in Kuwait. *American J. of Civil Engineering and Architecture*, 5(4), 167-173.
- Al-Hafith O. et al. (2017). The Impact of Courtyard parameters on its shading level An experimental study in Baghdad, Iraq. *Energy Procedia*, 134, 99–109.
- Al-Hemiddi, N.A., Megren Al-Saud, K.A. (2001). The effect of a ventilated interior courtyard on the thermal performance of a house in a hot– arid region. *Renewable Energy*, 24(3–4), pp. 581-595.
- Allan, K., (1980). *Design Primer for hot Climates*. London: The Architectural press Ltd.
- Al-Masri, N., Abu-Hijleh, B. (2012). Courtyard housing in midrise buildings: An environmental assessment in hot-arid climate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(4), pp. 1892-1898.
- Alwetaishi, M. (January 2019). Impact of glazing to wall ratio in various climatic regions: A case study. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 31, 6-18
- Bahadori, M. (1994). Viability of wind towers in achieving summer comfort in the hot arid regions of the Middle East. *Renewable Energy*, 5, 879-892.

- Bouchahm, Y., Bourbia, F., Belhamri, A. (2011). Performance analysis and improvement of the use of wind tower in hot dry climate. *Renewable Energy*, 36, 898-906.
- Boustani, F., (2008). Sustainable water utilization in arid region of Iran by Qanats. *World academy of science, Engineering technology*, 19,213-216.
- Calis, G., Atil, B. Kuru, M. (2015). Thermal Comfort and occupant Satisfaction of a Mosque in a Hot and Humid Climate. *Computing in Civil Engineering*, pp. 139-147.
- Cantin, R. et al. (September 19 to 22, 2005). Complexité du confort thermique dans les bâtiments. *In actes du 6eme congrès européen de science des systèmes tenu*. Paris.
- Cheng, Z., Li, L., Bahnfleth, W. P. (2016). Natural ventilation potential for gymnasia- Case study of ventilation and comfort in a multisport facility in northeastern United States. *Building and Environment*, 108, 85-98.
- Chow, T.T. et al. (2010). Thermal sensation of Hong Kong people with increased air speed, temperature and humidity in air-conditioned environment. *Building and Environment*, 45(10), 2177-2183.
- Chris, L., Sleep, H. G. (2013). Thermal comfort and the energy saving potential due to reduced indoor operative temperature during sleep. *Building and Environment*, 59, 91-98.
- Chu, C., Chiang, B. (2014). Wind-driven cross ventilation in long buildings, *Building and Environment*, 80, 150-158.
- Cohen, P., Potchter, O., Matzarakis, A. (2013). Human thermal perception of Coastal Mediterranean outdoor urban environments. *Applied Geography*, 37, 1-10.
- Crawley, D. B., Hand, J. W., Kummert, M., Griffith, B. T. (2008). Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and Environment*, 43(4), 661-673.
- de Carvalho P. M. et al. (January 2013). Influence of weather and indoor climate on clothing of occupants in naturally ventilated school buildings. *Building and Environment*, 59, 38-46.
- de Dear, R. J. et al. (1991). Thermal Comfort in the Humid Tropics: Field Experiments in Air Conditioned and Naturally Ventilated Buildings Singapore. *International Journal of Biometeorology*, 34, 259-265.

- Derks, M. T. H., Mishra, A. K., Loomans, M. G. L. C., Kort, H. S. M. (2018). Understanding thermal comfort perception of nurses in a hospital ward work environment. *Building and Environment*, 140, 119-127.
- Diakaki, C., Grigoroudis, E., Kabelis, N., Kolokotsa, D., Kalaitzakis, K., Stavrakakis, G. (2010). A multi-objective decision model for the improvement of energy efficiency in buildings. *Energy*, 35(12), 5483-5496.
- Dubey, K., Krarti, M. (July 2017). *An Evaluation of High Energy Performance Residential Buildings in Bahrain*. KS-2017-DP16. Riyadh: King Abdullah Petroleum Studies and Research Center.
- El-deep, K., El-zafarany, A., Sheriff, A. A. (2012). *Effect of building form and urban pattern on energy consumption of residential buildings in different desert climate*. PLEA, 28th conference opportunities Limits and needs towards an environmentally responsible architect. Lima, Peru.
- Fabbri, K. (2013). Thermal comfort evaluation in kindergarten: PMV and PPD measurement through datalogger and questionnaire. *Building and environment*, 68, 202-214.
- Faghieh, A. K., Bahadori, M. N. (2009). Experimental investigation of airflow over domed roofs. *Iranian Journal of Science & Technology*, 33, 207-216.
- Fanger, P. O. (1967). Calculation of thermal comfort: introduction of a basic comfort equation. *ASHRAE Transactions*, 73(2), III4.1-2.
- Fanger, P. O. (1970). Thermal comfort-analysis and applications in environmental engineering. *Danish Technical Press*, pp. 244.
- Ferghal, A., Wagner, A. (July 27-29, 2008). Studying the adaptive comfort approach within a hot dry climate: A case study in educational building in the Egyptian climate. *Proceeding of conference air conditioning and the low cooling challenge*. Windsor, UK.
- Frontezale, M., Wargocki, P. (2011). Literature survey of how different factors influence human comfort in indoor environments. *Building and environment*, 46, 922-937.
- Gagge, A. P. (1946). The linearity criterion as applied to partitioned calorimetry. *The American Journal of physiology*, 116, 656-668.

- Gagge, A. P., Fobelets, A. P., Berglund L.G. (1986). A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHARE Transactions*, 92(2), 709-731.
- Gilani, N., Haghghi, A. P. (2014). Heat exchanger design of direct evaporative cooler based on outdoor and indoor environmental conditions. *J. Thermal Sci. Eng. Appl.*, 6, 1-9.
- Gucyeter, B. (2018). Evaluating diverse patterns of occupant behavior regarding control-based activities in energy performance simulation. *Frontiers of Architectural Research*, 7, 167-179
- Guillemet, G. Guy-Coichard, C. (2016). Principios de tratamiento del dolor crónico. Encyclopidie Médico Chirurgicale- Kinesiterapia Medicina Fisica - Elsevier Masson SAS, 37(3), 1-12.
- Hillenbrand, R. (1994). *Islamic Architecture: Form, Function and Meaning*. Edinburgh: Edinburgh University Press.
- Hong, T., Taylor-Lange, S. C. , D'Oca, S., Yan, D., Corgnati, S. P. (2016). Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings. *Energy and Buildings*, 116, 694–702.
- Hyuna, K., Minhyun, L., Taehoon H., Jun-Ki, C. (2018). Determining the optimal occupancy density for reducing the energy consumption of public office buildings: A statistical approach. *Building and Environment*, 127, 173-186.
- Ibrahim, B. (2002). The role of the courtyard of the mosque in the rationalization of electricity consumption. *Architecture and planning*, 1, 1-17.
- Jomehzadeh, F. (2017). A review on wind catcher for passive cooling and natural ventilation in buildings, Part 1: Indoor air quality and thermal comfort assessment. *Renewable & S. E. R*, 70, 736–756.
- Khan, N., Su Y., Riffat S. B. (2008). A review on wind driven ventilation techniques. *Energy and buildings*, pp. 1586-1604.
- Kumar, S. et al. (2016). An adaptive approach to define thermal comfort zones on psychometric chart for naturally ventilated buildings in composite climate of India. *Building and Environment*, 109, 135-153.

- Kumar, S., Singh, M. K., Loftness, V., Mathur, J., Mathur, S. (2016). Thermal comfort assessment and characteristics of occupant's behavior in naturally ventilated buildings in composite climate of India, *Energy Sustain*, 33, 108-121.
- Maldonado, E., Fernandese, O., (1993). Building thermal regulations: why has summer been forgotten?. In *Proceeding of the 3rd European Conference on Architecture*, pp. 626.
- Masoso, O. T., Grobler, L. J. (2010). The dark side of occupants' behavior on building energy use. *Energy and Buildings*. 42(2), 173-177.
- Mavrogianni, A., Davies, M., Taylor, J., Chalabi, Z., Biddulph, P., Oikonomou, E., Das, P., Jones, B. (2014). The impact of occupancy patterns, occupant-controlled ventilation and shading on indoor overheating risk in domestic environments. *Building and Environment*, 78, 183-198.
- Maykot, J. K., Rupp, R. F., Ghisi, E. (2018). A field study about gender and thermal comfort temperatures in office buildings. *Energy and Buildings*, 178, 254-262.
- Modeste, K. N., Tchinda, R., Ricciardi, P. (2014). Thermal comfort and air movement preference in some classrooms in Cameroun. *Revue des Energies Renouvelables*, 17 (2), 263-278.
- Mohammad, S. et al. (2009). Assessment of monitored energy use and thermal comfort conditions in mosques in hot-humid climates. *Energy and Buildings*, 41, 607–614.
- Mors, S. T., et al. (2011). Adaptive thermal comfort in primary school classrooms: creating and validating PMV based comfort charts. *Building and environment*. 46. 2454-2461.
- Muhaisen, A. S. (2011/1432H). Shading Potential of Semi-spherical Roof Dome. *J. King Saud Univ.*, 23, 31-40.
- Muhaisen, S., Gadi, M. B. (2006). Shading performance of polygonal courtyard forms. *Building and Environment*, 41/8, pp. 1050-1059.
- Nacer. A, (2004). Strategies for rationalizing electricity consumption in mosque buildings. *Architecture and planning*, 1, 177-209.
- Nicol, J.F., Humphreys, M. (1995). Thermal Comfort and Temperature Standards in Standards for Thermal Comfort. *Indoor Air Temperature Standards for the 21st Century*, 149, pp. 149-157.

- Ogbonna, A. C., Harris, D. J. (2008). Thermal Comfort in Sub-Sahara Africa: Field Study Report in Jos-Nigeria. *Applied Energy*, 85 (1), 1-11.
- Oglay, V. (1963). *Design with climate Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. Princeton: Princeton university Press.
- Olesen, B. W., Parson, K.C. (2002). Introduction of thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730. *Energy and Buildings*. 34. 537-548.
- Peren, J. I., van Hooff, T., Leite, B .C. C., Blocken, B. (2016). CFD simulation of wind-driven upward cross ventilation and its enhancement in long buildings: impact of single-span versus double-span leeward saw tooth roof and opening ratio. *Building and Environment*, 96, 142-156.
- Poshtiri, A. H., Mohabbati, S. M. (2017). Performance analysis of wind catcher integrated with shower cooling system to meet thermal comfort conditions in buildings. *Journal of Cleaner Production*, 148, 452-466
- Raccuglia, M. et al. (November 2018). Clothing comfort during physical exercise – Determining the critical factors. *Applied Ergonomics*, 73, 33-41.
- Ramponi, R., Angelotti, A., Blocken, B. (2014) Energy saving potential of night ventilation: sensitivity to pressure coefficients for different European climates. *Applied Energy*, 123, 185-195.
- Schellen, L., Loomans, M. G. L. C., Kingma, BRM., De Wit, MH., Frijns, AJH., Van Marken Lichtenbelt, WD. (January 2013). The use of a thermo physiological model in the built environment to predict thermal sensation: coupling with the indoor environment and thermal sensation. *Building and Environment*, 59, 10-22.
- Serpoushan, S., Yaghoubi, M., (2001). Solar energy calculation on 3D surfaces. *Iran Energy Journal*, 13.
- Soflaee, F., Shokouhian, M. (May 2005). Natural cooling systems in sustainable traditional architecture of Iran. *International Conference Passive and low energy cooling for the built environment*, p. 715-719. Santorini.
- Tavakol, M., Yaghoubi, M., Motlagh, M. M. (2010). Airflow aerodynamic on a wall-mounted hemisphere for various turbulent boundary layers. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34 (5), 538-553.

- Tavridou, A. D. S., Prinos, P. E. (2013). Natural ventilation of buildings due to buoyancy assisted by wind: investigating cross ventilation with computational and laboratory simulation. *Building and Environment*, 66, 104-119.
- Thelier, F. et al. (2003). Les outils d'évaluation du confort thermique. *Journée SFT/CSTB*. Nantes.
- Varzaneh, E. H., Amini, M., Bemanian, M. R. (2014). Impact of Hot and Arid Climate on Architecture (Case Study: Varzaneh Jame Mosque). *Procedia Engineering*, 94, 25-32.
- Wagner, A., Gossauer, E., Moosman, C., Gropp, Th., Leonhart, R. (2007). Thermal comfort and workplace occupant satisfaction-results of field studies in German low energy offices. *Energy & Buildings*, 39, 758–769.
- Xiaoni, Q., Zhenyan, L., (2008). Further investigation on the performance of a cooling tower. *Energy Conversion and Management*, 49, 570-577.
- Yanga, J., Santamouris, M., Leea, S. E., Deb, C. (2016). Energy performance model development and occupancy number identification of institutional buildings. *Energy Build*, 123, 192–204.
- Ye, Y., Zhiwei L., Weiwei, L., Qi, S. (January 28, 2008). Experimental study on physiological responses and thermal comfort under various ambient temperatures. *Physiology & Behavior*, 93(1-2), 310-321.
- Ying, B. A. et al. (2004). Mathematical modeling of thermal physiological responses of clothed infants. *Journal of Thermal Biology*. 29(7-8). 559-565.
- Zoras, S., Veranoudis, S., Dimoudi, A. (2017). Micro- Climate Adaptation of Whole Building Energy Simulation in Large Complexes. *Energy and Buildings*, 150, 81-89.

Books

- Allan, K., (1980). *Design Primer for hot Climates*. London: The Architectural press Ltd.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc. (2013). ANSI/ASHRAE Standard 62.13, 2013. *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Atlanta.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc, ASHRAE Handbook/Fundamentals, (2009). Ventilation and infiltration, Chapter 16-11.

- ANSI/ASHRAE Standard 55. (2010). *Thermal Environmental condition for Human Occupancy*.
- ASHRAE Handbook/Fundamentals. (2009). Ventilation and infiltration, Chapters 16.11.
- Bluyssen, P. M. (2009). *The indoor environment handbook*. London: Earthscan.
- British Petroleum. (June 2018). *BP Statistical Review of World Energy*.
- Carrié, R. et al. (2006). *Perméabilité de l'enveloppe des bâtiments-Généralités et sensibilisation*, Rapport n°06-95. Lyon : CETE.
- CENTRE D'INFORMATION SUR LE CIMENT ET SES APPLICATIONS. (2007). *Béton & confort thermique*. Collection Technique CIMBETON, B40.
- Cristan, C., Francis A. (2005). *Natural ventilation in the urban Environment .Assessment and Design*. London: EARTHSCAN.
- Dubey, K., Krarti, M. (July 2017). *An Evaluation of High Energy Performance Residential Buildings in Bahrain*. KS-2017-DP16. Riyadh: King Abdullah Petroleum Studies and Research Center.
- Fernandez, p. Lavigne, p. (2009). *Concevoir des bâtiments bioclimatique. fondements et méthodes*. Paris : Moniteur.
- Givoni, B. (1978). *L'homme l'architecture et le climat*. Paris : Moniteur.
- Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. Canada : John Wiley & Sons, Inc.
- Guillemet, G. Guy-Coichard, C. (2017). *Le manuel du résident kinésithérapie médecine physique-réadaptation*. Edition 2017, p. 1086. *Encyclopidie Médico Chirurgicale - Elsevier Masson*.
- Hillenbrand, R. (1994). *Islamic Architecture: Form, Function and Meaning*. Edinburgh: Edinburgh University Press.
- Instituts Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement. (2007). *Guide pratique pour la construction et la Rénovation durable de petits bâtiments*. Bruxelles.
- International Building Code. (2006). *International Code Council*. ISBN 1-58001-251-5.
- International Energy Agency. (2010). *World energy outlook*. Paris.
- International Energy Agency. (2017). *World energy outlook*. Paris.
- International Standardization Organization, EN ISO 10551:2005. *Ergonomics of the thermal environment, Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales*.

- International Standardization Organization, ISO7730, 2005. *Moderate thermal environments, Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*. Geneva.
- Liébard, A., De Herde, A. (2004). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique*. Paris : Ed le Moniteur.
- Melaragno, M. G. (1982). *Wind in Architectural and Environmental Design*. New York Van Nostrand Reinhold Company.
- Olgyay, V. (1963). *Design with climate Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. Princeton: Princeton university Press.
- Serageldin, I., Steele, J. (1996). *Architecture of the Contemporary Mosque*. Wiley
- Thellier, F. (1999). *L'homme et son environnement thermique-Modélisation*. Toulouse: Université de Paul Sabatier.
- United nations. (June 5-16, 1972). *Report of the United Nations Conference on the Human Environment*. Stockholm.
- Wang, S. K. (2000). *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*. McGraw Hill.
- World Health Organization (WHO). (1999). *Health is a state of complete physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity*. 42nd ed. Geneva: World Health Organization.

Internet sites & Journals articles

- www.familydoctor.org.
- Roger, S., Carré, M. (2006). Améliorer le confort d'été dans les établissements pour personnes âgées et handicapées. Guide pratique Pour les gestionnaires d'établissements sociaux et médico-sociaux, Retrieved February 05, 2019, from site https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/62539_guide-confort-dete.pdf
- Wikipedia, the free encyclopedia (2016, April). Earth's atmosphere. Retrieved January 22, 2019, from <http://www.wikipedia.org/wiki/Atmosphere>
- E-sante.fr. (August 19, 2016). Quels sont les vrais risques de la climatisation. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. Retrieved November 24, 2018, from <http://www.e-sante.fr/quels-sont-vrais-risques-climatisation/actualite/983?page=0%2C1>
- Dr Cardenas, J. (June 21, 2017). Climatisation et santé : les précautions d'usage. Retrieved December 24, 2018, from <http://www.doctissimo.fr/html/dossiers/travail/articles/13735-risques-climatisation.htm?fbclid=IwAR1zvyr7QTXzMG77aB7ZOX4sM8YHn0ewZkoEKLd-8zg8Sv1h14A0aoOWgFI>
- <https://www.djazairess.com/elbilad/284438>. Retrieved June 02, 2018

Thesis

- Moujalled, B. (2007). *Modélisation dynamique du confort thermique*. Thèse de doctorat. Lyon : Institut des sciences appliquées.
- Bodart, M. (2002). *Création d'un outil d'aide au choix optimisé du vitrage du bâtiment*, pp. 110. Thèse de doctorat. Louvain: Université Catholique de Louvain, Faculté des sciences appliquées, Unité d'Architecture-elgique.
- Cordier, N. (2007). *Développement et évaluation de locaux de grandes dimensions*, pp. 321. Thèse de doctorat. Lyon.
- Jung, O. (2009). *Approche multicritère numérique et expérimentale de la ventilation et du rafraîchissement d'un multizone par contrôle de composant de façade*, pp. 36. Thèse de doctorat

- Kleiven, T. (2003). Natural Ventilation in Buildings Architectural: Concepts, consequences and possibilities. Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor Engineer, URN: NBN: no-7242, pp. 31.

المراجع

المقالات

- الإكياي، م. ع. ا. خ. (٣١ يناير-٤ فبراير ١٩٨٨ م). مدخل لتصميم المسكن ذي الفناء في المدينة الإسلامية. المؤتمر القومي الأول للدراسات والبحوث البيئية، القاهرة: معهد ٤٢ الدراسات والبحوث البيئية.
- بن عبد الله، خ. وغيره. (1999م 6 أ). أبراج التبريد الطبيعي وأثرها على الأداء الحراري للمساجد: حالة جامع الرحمانية بالجوف، ص 25-40. أبحاث ندوات عمارة المساجد. الرياض: جامعة الملك سعود، كلية العمارة والتخطيط.
- الجمعية العامة للأمم المتحدة. (1987). مستقبلنا المشترك. تقرير مفوضية الأمم المتحدة للبيئة والتنمية.
- الدميني، ع. ا. غ. (2009). معايير الراحة الحرارية للأبنية السكنية في عدد من المدن اليمنية. مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، 25(2)، ص 406.
- موسى، ف. (2005). نوافذ تعليمية لحساب حمل التبريد للأبنية. مجلة تكريت للعلوم الهندسية، المجلد 12 / العدد 3 / آب.
- الناجم، ع.، المفيز، إ. (1999). أهمية فناء المسجد في ترشيد الطاقة الكهربائية. ندوة عمارة المساجد. الرياض.
- نوفل، م. ح. (1419هـ/1999م). المعايير التصميمية لعمارة المساجد، ندوة عمارة المساجد، ص 85. الرياض: كلية العمارة والتخطيط.
- يونس محمد أحمد، (2003). حماية البيئة في الفكر الإسلامي، ص 27. ندوة الثقافة والعلوم. دبي.

الكتب

- Khartchenko, V. N. ترجمة بسام حمود. (2000). طاقة وسلامة البيئة. دمشق: المركز العربي للتدريب والترجمة والتأليف.

- أبادي، ا. (1998). القاموس المحيط. بيروت: مؤسسة الرسالة.
- ابن نجيم، (1405هـ/1985م). الأشباه والنظائر. بيروت: دار الكتب العربية.
- الأنصاري، م. م. ص. (1999). تحليل حركات صلاة المسلمين وعلاقتها بسلامة ومرونة بعض مفاصل جسم الإنسان. رسالة ماجستير. بغداد: كلية التربية الرياضية، جامعة بغداد.
- البخاري، م. ب. إ. (١٤١٩ هـ). صحيح البخاري من رواية جابر بن عبد الله، حديث رقم ٤٣٨. الرياض: بيت الأفكار الدولية.
- البخاري، م. ب. إ. (أعادة الطبع 1412هـ). صحيح البخاري كتاب الآذان باب إقامة الصف من الصلاة. بيروت: دار الكتب العلمية.
- الجزيري، ابن الاثير. (606-544). جامع الأصول في أحاديث الرسول. حقق نصوصه وخرج أحاديثه وعلق عليه الأرنؤوط. الكويت: مكتبة الحلواني. مطبعة الملاح. مكتبة دار البيان.
- الجمعية العامة للأمم المتحدة. (1987). مستقبلنا المشترك. تقرير مفوضية الأمم المتحدة للبيئة والتنمية.
- الجنحاني، الحبيب. (1978). المغرب الإسلامي. تونس.
- حريري، م. م. ع. ا. (1991م). صحن الدار والتطلع الى السماء. جدة: دار المجتمع للنشر.
- حماد، م.، سالم، م. ف. (1971). التشجير المعماري. القاهرة: مطبعة دار النشر للجامعات المصرية.
- الخضيرى، إ. ب. ص. (١٤٢١ هـ). أحكام المساجد في الشريعة الإسلامية. ج ١ ط ٢. الرياض: دار الفضيلة للنشر والتوزيع.
- الرجحوي، ع. ا. (1979). العمارة العربية السورية. دمشق: وزارة الثقافة والإرشاد القومي.
- السامرائي، ق. ع. ا. (2008). مبادئ الطقس والمناخ. عمان: دار الهدى.
- السدلان، ص. ب. غ. (1419هـ/1999م). الأثر التربوي للمسجد. الرياض: وزارة الشؤون الدينية والأوقاف والدعوة والإرشاد.
- شهبي، ع. ا. (1985). مساجد أثرية في منطقتي الزاب و وادي ريغ. الجزائر: جامعة الجزائر، معهد الآثار.
- عبد الجليل، ف. وآخرون. (1985م). علم البيئة. الموصل: مطبعة جامعة الموصل.

- عبد الرحيم، س. (1999). العناصر المناخية والتصميم المعماري. الرياض: جامعة الملك سعود دار النشر العلمي والمطابع.
- العريني، ي. ب ع ا. (1429هـ/2008م). رعاية البيئة من التلوث، رؤية اقتصادية إسلامية. الرياض: دار طويق.
- عزوق، ع. ا. (1996م). القباب والمآذن في العمارة الإسلامية. الجزائر: ديوان المطبوعات الجامعية.
- قرامي، ز. ر. (1996). الاستشفاء بالصلاة. مكة المكرمة: هيئة الإعجاز العلمي في القرآن والسنة.
- القرآن الكريم.
- مباركي، ع. (2013). التهوية وتقنيات التبريد الطبيعي في عمارة المساجد. جامعة قسنطينة: جامعة قسنطينة.
- مؤنس، ح. (1981). المساجد. الكويت: المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب.
- نوبي، م. ح. (2002). عمارة المسجد في ضوء القرآن والسنة. القاهرة: دار نُهضة الشرق.
- نوفل، م. ح. (1419هـ/1999م). المعايير التصميمية لعمارة المساجد، ندوة عمارة المساجد. الرياض: كلية العمارة والتخطيط.
- النووي، أ. ز. ي. (أعادة الطبع 2002). رياض الصالحين من كلام سيد المرسلين. بيروت: مؤسسة المعرفة للطباعة والنشر.
- وزير، ي. (1992). التعمير في القرآن والسنة. القاهرة.
- وزير، ي. (2004). العمارة الإسلامية والبيئة. سلسلة عالم المعرفة. الكويت: مطابع السياسة.
- الوكيل، ش. ا.، سراج، م. ع ا. (1989). المناخ وعمارة المناطق الحارة. القاهرة: دار عالم الكتب للنشر.

مواقع الإنترنت ومقالات الجرائد

- سوكو، ن. (2014، ديسمبر 15). المساجد الجزائرية على الهامش. جريدة الخبر الجزائرية
- سلامة، م. (2018/08/16). طقس العرب. وجدت (فيفري 02، 2019)، من مظلات-الحرم-وقاية-من-وهج-الشمس و-هطول-المطر/<http://www.arabiaweather.com/content/>

- الغامسي، س. (2012/08/08). قباب المسجد النبوي الظل والنور. جريدة عكاظ السعودية. وجدت (فيفري 02، 2019) من www.okaz.com
- جريدة الحياة. (2018، فيفري 26). 30 مليون جهاز تكييف تستهلك 65% من كهرباء المباني في السعودية. الرياض
- تقرير مديرية سونلغاز بالوادي. اليوم الدراسي الموجه لأئمة المساجد حول ترشيد استهلاك الكهرباء. (2018، جوان 02). من <https://www.djazairiss.com/elbilad/284438>
- سوكو، ن. (2014، ديسمبر 15). المساجد الجزائرية على الهامش. جريدة الخبر الجزائرية.

الرسائل

- الأنصاري، م. م. ص. (1999). تحليل حركات صلاة المسلمين وعلاقتها بسلامة ومرونة بعض مفاصل جسم الإنسان. رسالة ماجستير. بغداد: كلية التربية الرياضية، جامعة بغداد.
- مباركي، ع. (2013). التهوية وتقنيات التبريد الطبيعي في عمارة المساجد. جامعة قسنطينة.

ملحقات

إستمارة الإستبيان:

العمر:

الطول:

الوزن:

كيف تشعر بالجو الآن:

بارد كثيرا بارد بارد قليلا ملائم ساخن قليلا ساخن ساخن كثيرا

هل انت راض عن الجو الآن:

لا نعم

كيف تفضل ان يكون:

أبرد بكثير أبرد أبرد بقليل بدون تغير أسخن بقليل أسخن أسخن بكثير

بعض أساسيات النموذج الحسابي المستخدم (CFD) لنظام التبريد بالتبخير للباحث "بوشتيري"¹(Poshtiri)

من أجل تصميم نظام التبريد بالتبخير تم تثبيت بعض العوامل:

1. حركة قطرة الماء اتجاه عمودي من الفوهات.
 2. القطرات عبارة عن كرات، ولا يتغير شكلها (وليس حجمها) أثناء الحركة.
 3. بسبب الاختلاف البسيط في درجة الحرارة الإشعاعية، فإن النقل الحراري الإشعاعي مهمل.
- وفقاً للشكل 1 ، يكون اتجاه سرعة القطرة والجاذبية واتجاه السحب الجوي وتكون قوة الطفو الى أعلى.

وتقسم الحركة على مرحلتين، يمكن تقسيم حركة القطرات على مرحلتين:

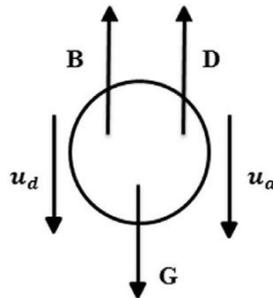
1. حركة مستقيمة متغيرة بانتظام ذات سرعة ابتدائية.
 2. بعد بلوغ سرعة معينة تصبح الحركة مستقيمة منتظمة.
- وفقاً للشكل 1، يتم التعبير عن القوى التطبيقية على النحو التالي:

$$\text{Gravity : } G = \frac{1}{4} m_d g = \frac{1}{6} \rho g r_d^3 d \quad (1)$$

$$\text{Buoyancy : } B = \frac{1}{4} \rho_a g r_d^3 d \quad (2)$$

$$\text{Air Drag : } D = \frac{1}{8} C_d \rho_a u_a^2 d^2 \quad (3)$$

:



الشكل (ملحق 1.6) اتجاه القوى المطبقة على قطرة الماء

¹ Poshtiri, A. H., Mohabbati, S. M. (2017). Performance analysis of wind catcher integrated with shower cooling system to meet thermal comfort conditions in buildings. Journal of Cleaner Production, 148, 452-466.

حيث يتم حساب رقم رينولدز بواسطة $Re = \frac{\rho u_d d}{\mu}$. تُعطى معادلة التوازن للقوى المطبقة على قطرة الماء بواسطة:

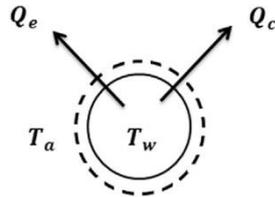
$$m_d u_d \frac{du_d}{dz} = (B + D - G)$$

بما أن درجات حرارة تيار الهواء وقطرات الماء متقاربة. وبما أن الضغط الجزئي لبخار الماء على سطح القطرة أعلى من ضغط الهواء، فهناك آلية نقل إجمالي للماء المتبخر في الهواء. ويرتبط ذلك بنقل الحرارة الكامنة وتبخير الماء. يتم نقل الحرارة بالحمل بسبب فرق درجة الحرارة بين قطرات الماء و تيار الهواء. من أجل حساب تغير درجة حرارة تيار الهواء وقطرات الماء على طول نظام التبريد، يتم أخذ الافتراضات التالية بعين الاعتبار.

1. يحدث إنتقال الحرارة فقط بين تيار الهواء وقطرة الماء ويتم إهمال إنتقال الحرارة بين جدران القناة والغرف والهواء المحيط.

2. يتم نقل الحرارة الإشعاعي بسبب اختلاف درجات الحرارة القليل.

يوضح الشكل 2 الانتقال الانتقالي الحراري على سطح قطرة الماء أثناء التبخر. معادلة توازن الطاقة على سطح التحكم هي كما يلي:



الشكل (ملحق 2.6) انتقال الحرارة والكتلة من سطح قطيرة الماء.

$$\frac{dQ_d}{dt} = -(Q_c + Q_e)$$

يتم حساب Q_d و Q_c و Q_e بواسطة المعادلات التالية:

$$Q_d = m_d C_w T_w$$

$$Q_c = h_a A_d (T_w - T_a)$$

$$Q_e = h_m A_d (\omega_{sw} - \omega_a) i_v$$

where:

$$h_a = \frac{Nu_d k_a}{d_d}$$

بسبب تبخر قطرات الماء، تنخفض كتلتها وحجمها على طول قناة التبريد. من أجل الحصول على صيغة لحساب تفاوت القطرات في القطيرات، يتم حساب تغير قطر كل قطرة كما يلي:

$$\frac{d(d_d)}{dz} = \frac{2h_m(\omega_{sw} - \omega_a)}{\rho_w u_d}$$

أما المعادلة التفاضلية الخاصة بتغير رطوبة الهواء فتحسب كما يلي:

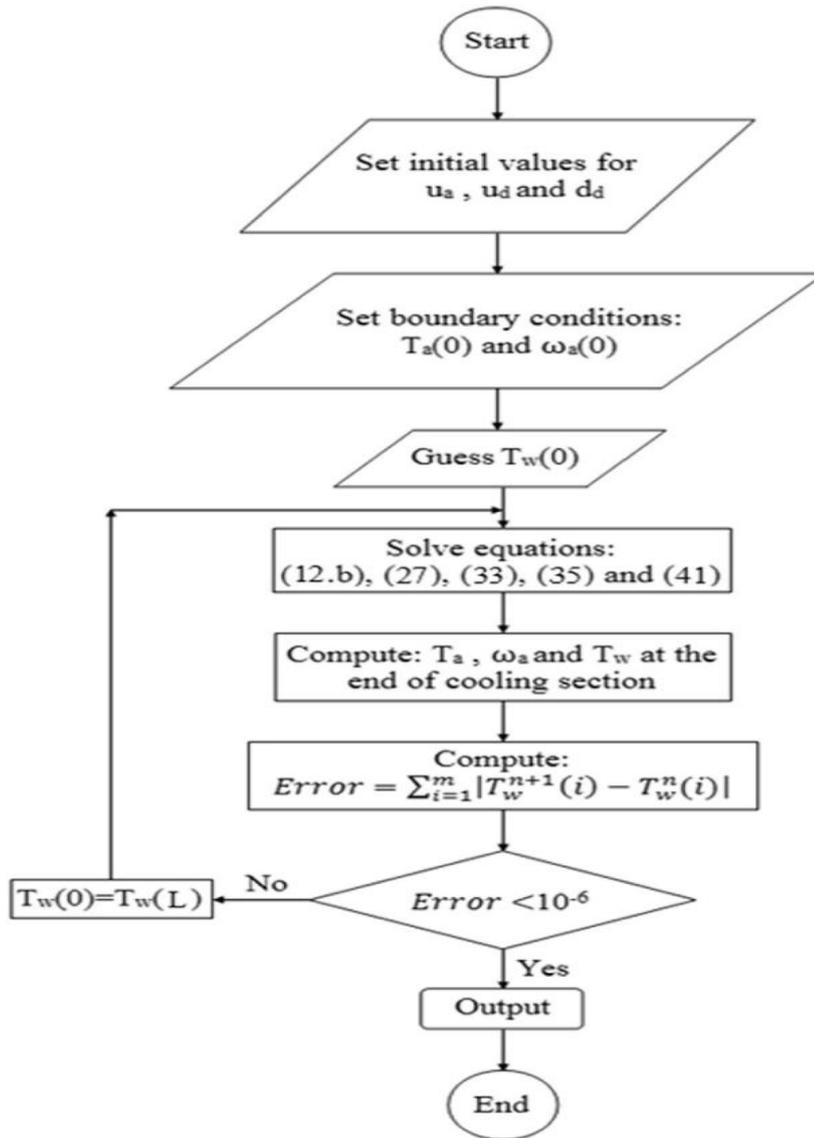
$$\frac{d\omega_a}{dz} = \left(\frac{m_w}{m_a}\right) \frac{6h_m(\omega_{sw} - \omega_a)}{\rho_w u_d d_d}$$

يتم حساب المحتوى الحراري لمزيج الهواء والبخار الناتج من عملية التبخر كما يلي:

$$\begin{aligned} \frac{di_{ma}}{dz} &= \frac{dQ}{m_a} \\ &= \left(\frac{m_w}{m_a}\right) \frac{6h_m}{\rho_w u_d d_d} [(1 - Le)i_v(\omega_{sw} - \omega_a) + Le(i_{masw} - i_{ma})] \end{aligned}$$

من أجل حل المعادلات السابقة، هناك حاجة إلى بعض الافتراضات الأولية والشروط الحدودية:

- يجب تحديد سرعة قطرات الهواء.
- سرعة الماء.
- القطر الأولي للقطرات عند مدخل قناة التبريد.
- نسبة الرطوبة.
- درجة حرارة تيار الهواء في مدخل قسم التبريد تساوي قيمها في الهواء المحيط.
- بسبب تدفق الماء عبر مضخة في النظام المقترح، فإن درجة حرارة الماء عند مخرج نظام التبريد تساوي درجة حرارة قطرات الماء عند مخرج الفوهات.



الشكل (ملحق 3.6) مخطط العمل لبرنامج الكمبيوتر الخاص بنظام تبريد بالتبخير.

للباحث "بوشتيري" (Poshtir. 2017)

A	Area (m^2)
ACH	Air change per hour (h^{-1})
ATCL	Adaptive Thermal Comfort Line
B	Buoyancy force (N)
C_d	Drag coefficient on droplet (dimensionless)
C_μ model	Empirical constants in the realizable $k-\epsilon$ turbulence model
C_p	Specific heat at constant pressure ($J/Kg.K$)
D	Drag force (N)
d_d	Diameter of droplet (m)
f_i	External body force in i^{th} direction (N/m^3)
G	Gravity (N)
H	Height of computational domain (m)
h	Convection heat transfer coefficient (W/m^2K)
h_m	Mass transfer coefficient (kg/sm^2)
ISOL	ISO7730 Line
i_{fgw0}	Enthalpy of water at temperature of $0^\circ C$ (KJ/Kg)
i_{ma}	Enthalpy of moist air (KJ/Kg)
i_v	Specific vaporization enthalpy (KJ/Kg)
k_a	Thermal conductivity of air (W/mK)
L	Distance between water nozzles and reservoir (m)
m	Mass or mass flow rate (Kg or Kg/s)
N_d	Number of water droplet
Q	Heat transfer (W)
Q_r	Cooling demand for room (W)
RH	Relative humidity (%)
T_m	Annual average temperature of air ($^\circ C$)
T	Temperature ($^\circ C$)
u	Velocity (m/s)
u^*	Dimensionless velocity
y [*]	Dimensionless wall coordinate

Greek symbols

ϕ	Scalar property (k or ϵ)
Γ	Diffusion coefficient
μ	Dynamic viscosity ($Pa s$)
ν	Kinematic viscosity (m^2/s)
ρ	Density (kg/m^3)
ω	Humidity ration (kg/kg)
Dimensionless terms	
Le	Lewis factor ($h_a/C_p h_m$)
Nu	Nusselt number ($h_a d_d/k_a$)
Pr	Prandtl number ($C_p \mu/k_a$)
Re	Reynolds number $ u_d - u_a d_d/\nu$
Subscript	
a	Air
c	Convection
fcc	Air flow in evaporative cooling channel
d	Droplet
db	Dry bulb
e	Evaporation
in/out	Inlet/Outlet
H	Height
ma	Moist air
p	Point near wall cell
r	room
sw	Saturated water
v	Vapor
W	Water
Wb	wet bulb

Abstract

Cooling use is the major energy consumption in mosques buildings since most Islamic world has a hot and dry climate. Understanding properly thermal comfort as well as factors that affects it especially air movement, would help building designs to provide a suitable thermal environment for occupants with reducing energy health, environment, and economic costs. Rarely works have been performed on studying mosques occupants' thermal comfort and the effect of air movement on it. To study air movement effect on thermal sensation which is the most suitable index to evaluate thermal comfort, the field study was based on two ASHRAE 55/2013 models: Objective ISO 7730 and Adaptive ISO 10551, where the study was performed using a typical model in terms of design, hot and arid climate as well as occupants' personal factors similarities. The chosen mosque has a movable dome and many shaded windows so to reach 19 scenarios and 1082 questionnaires, the diversification of these scenarios are mainly based on air movement and temperature. Simulations using EDSL-TAS and CFD followed the investigation to assess the outcomes on cooling loads and their limits when applied for cooling, respectively. The study includes as well investigation results effect on the ability to provide both comfortable and healthy thermal environment at the same time inside the building when thermal comfort is realized by any cooling means. The results show that: by providing an internal air velocity $v_{\text{air}} \geq 0.4$ m/s, the neutral temperature T_n increases from 21.3 °C to 26.7 °C which conserve energy from 25% to 60.5% according to air change per hour ACH values. The work recommends for accurate results that evaporation cooling isn't absolutely the method to rely on when external temperature exceeds 39 °C. Concerning direct health effect on occupants the study shows that for internal air velocity $v_{\text{air}} \geq 0.4$ m/s this insures a healthy thermal environment.

Keywords: Mosques buildings, Hot dry climate, Adaptive thermal comfort, Air velocity, Cooling loads, Evaporation cooling, Non-harmful thermal difference.

RESUME

La climatisation est la principale consommation d'énergie dans les mosquées, car la plupart du monde islamique à un climat chaud et aride. Comprendre correctement le confort thermique ainsi que les facteurs qui l'affectent en particulier le mouvement de l'air, aiderait le design des bâtiments à fournir un environnement thermique approprié aux occupants tout en réduisant les coûts énergétiques liés à la santé, à l'environnement et à l'énergie. Rarement des études ont été consacrées à l'étude du confort thermique des occupants des mosquées et l'effet du mouvement de l'air sur celui-ci. Pour étudier l'effet du mouvement de l'air sur la sensation thermique, qui est l'indice le plus approprié pour évaluer le confort thermique, l'étude in situ était basée sur deux modèles ASHRAE 55/2013: Objectif ISO 7730 et Adaptive ISO 10551, où l'étude a été réalisée à l'aide d'un modèle typique en termes de conception, de climat chaud et aride ainsi que les similitudes des facteurs personnels des occupants. La mosquée choisie dispose d'une coupole mobile et de nombreuses fenêtres ombragées convenable pour atteindre 19 scénarios et 1082 questionnaires, cette diversité des scénarios repose principalement sur le mouvement de l'air et la température. Des simulations utilisant EDSL-TAS et CFD ont suivi l'investigation pour évaluer les résultats obtenus sur les charges de climatisation et leurs limites lorsqu'elles sont appliquées dans le refroidissement, respectivement. L'étude inclut également l'effet des résultats de l'investigation sur la capacité à fournir un environnement thermique confortable et sain en même temps à l'intérieur de l'édifice lorsque le confort thermique est obtenu par tout moyen de refroidissement. Les résultats montrent que: en fournissant une vitesse d'air interne $v_{\text{air}} \geq 0.4$ m/s, la température neutre T_n augmente de 21,3 °C à 26,7 °C, ce qui permet de conserver l'énergie de 25% à 60,5% en fonction du changement d'air par heure ACH. L'étude recommande pour des résultats précis, de ne pas absolument compter sur le refroidissement par évaporation lorsque la température extérieure dépasse 39 °C. Concernant l'effet direct sur la santé des occupants, l'étude montre qu'une vitesse d'air interne $v_{\text{air}} \geq 0.4$ m/s garantit un environnement thermique sain.

Mots clés: Mosquées, Climat chaud et aride, Confort Thermique Adaptatif, Vitesse de l'Air, Charges de climatisation, Refroidissement par évaporation, Ecart thermique non nocif.