# الجـــزء ١

# البناء الصحي

# ١

# مسائل الراحة والتحليل المناخي في تصميم المباني

**مقدمة:**

يبحث هذا الفصل في المسائل المتعلقة بالراحة الحرارية البشرية ومقاييس الراحة، وأثرها على تحليل المناخ كأساس لصياغة مبادئ تصميم المباني لمناخات مختلفة، وبشكل خاص الحارة منها. كما يبحث أيضاً تأثيرات مقاييس الراحة على تقييم الحاجة للتبريد الميكانيكي واستخدام الطاقة (وهدرها غالباً) في الأبنية المكيفة.

يمكن أن تعرف الراحة الحرارية عملياً على أنها مجموعة من الأحوال المناخية التي تعد مريحة ومقبولة داخل الأبنية. وتدل على غياب أي إحساس بعدم الارتياح الحراري (سواء أكان حاراً أو بارداً). فبالتعامل مع عدم الارتياح الناتج عن الحرارة هناك مصدران مميزان ومستقلان لعدم الارتياح: الإحساس الحراري بالحر، وعدم الارتياح بسبب رطوبة الجلد (التعرق المحسوس).

لذا ففي رسم الحدود المناخية لـ «منطقة الراحة»، فإن من المفيد البدء بتحليل طبيعة كل من هذين المصدرين لعدم الارتياح الحراري وعلاقتهما بعوامل مناخية عديدة أخرى.

ويعد تحليل الأحوال المناخية لمكان ما، نقطة البدء في صياغة أنظمة تصميم الأبنية وتخطيط المدن الهادفة لزيادة الراحة إلى أكبر حد والتخفيف من استخدام الطاقة للتدفئة والتبريد. كما يظهر تقديم البيانات المناخية عادة بأشكال رسومية ممكناً القارئ من استيعاب النماذج النهائية في فصول مختلفة ومعدل العلاقة السنوية المتبادلة بين العناصر المناخية العديدة. وتحتوي الرسوم التخطيطية المناخية

غالباً على حدود الراحة الحرارية البشرية كأساس لتقييم شدة المناخ الخارجي، والاحتياجات اللازمة للتدفئة و/أو التبريد، بالإضافة إلى خيارات التصميم لتحسين الأحوال الداخلية.

وقد تم وضع أول تقديم رسومي للبيانات المناخية من قبل أولجياي Olgyay (١٩٦٣)، وصمم خصيصاً كأساس لتقييم احتياجات الراحة البشرية وأهداف تصميم البناء. إذ يحدث هذا الإجراء الذي يتضمن التقديم التخطيطي وشرح البيانات المناخية تأثيراً عميقاً. حيث لاتزال العديد من الكتب والأبحاث المتعلقة بهذا الشأن تستخدم البيانات التي قدمها.

كما نناقش في هذا الفصل مشكلة تطبيق إجراء أولجياي وبعض أدوات التحليل المناخي ومقاييس الراحة المستخدمة غالباً بشكل شائع (مثل المجتمع الأميركي للتدفئة، التبريد والتكييف الهوائي American Society of Heating، Refrigera-tion and Air Cinditioning ASHRAE) للأبنية المكيفة بغير الهواء، وخاصة في البلدان النامية الحارة. (انظر جيفوني ١٩٧٦ مان، المناخ وفن العمارة).

كما يوضح الفصل استخدام الرسوم البيانية البنائية الجيومناخية في تأسيس الحدود المناخية لقابلية تطبيق العديد من أنظمة التبريد ذات الطاقة المنخفضة أو السلبية في مناخات مختلفة. وتستند تلك الحدود على درجات الحرارة الداخلية المتوقعة المنجزة مع أنظمة التبريد المختلفة. وتضمن أنظمة التبريد تهوية «الراحة» النهارية، استخدام الكتلة الإنشائية للخزن الحراري بالاشتراك مع التهوية الليلية لتخفيض درجات الحرارة الداخلية، وتبريد بخاري مباشر وغير مباشر. كما نناقش الخواص الفيزيائية وأداء أنظمة التبريد هذه في الفصل الخامس، ونناقشها بتفصيل أكبر في كتاب آخر هو «تبريد الطاقة المنخفضة والسلبية للأبنية (جيفوني ١٩٩٤)».

### المعاني الاقتصادية والتصميمية المتضمنة لمقاييس الراحة:

ربما يكون لمسألة تعريف حدود أحوال الراحة الداخلية المقبولة في الأبنية معاني متضمنة هامة لتصميم البناء وقد تحدث أيضاً عواقب اقتصادية عديدة. فهي تؤثر على تقييم فائدة التهوية الطبيعية وعلى القرارات المتعلقة بالحاجة لتكييف هوائي ميكانيكي، بالإضافة إلى مستوى استهلاك الطاقة من أجل التدفئة (والتبريد بشكل خاص) في الأبنية المكيفة بالهواء.

ويعني وضع الحدود العليا لدرجة الحرارة والسرعة الدينامية (سرعة الطائرة بالنسبة للهواء) بالنسبة للأحوال المناخية المقبولة في الأبنية المكيفة بالهواء أنه عند ارتفاع درجة الحرارة الداخلية فوق ذلك الحد فسوف يجهز التبريد الميكانيكي، على الرغم من أن درجات الحرارة الأعلى، مع السرعة الدينامية الأعلى، قد تكون مريحة للسكان في أحوال عديدة. فقد تخفض درجة الحرارة الداخلية الأعلى بالطبع اكتساب الأبنية للحرارة وكذلك تخفض الطاقة المستهلكة في التبريد.

كما يؤثر الأثر الذي تحدثه حدود راحة الرطوبة على استخدام الطاقة من أجل إزالة الرطوبة من الهواء، وبشكل خاص في المناخ الرطب الحار. وكما يعتمد أثر الرطوبة على الراحة بشكل كبير على السرعة الدينامية (انظر القسم التالي)، تزيد السرعة الدينامية الداخلية «المباحة» المنخفضة من الطاقة (والمال) المستهلك في إزالة الرطوبة.

وفي الأبنية المكيفة بغير الهواء، تؤثر مقاييس الراحة على استراتيجيات التصميم المتعلقة باختيار مواد البناء وتصميم البناء من أجل التهوية الطبيعية. وتعتبر حدود الراحة أيضاً أساساً للرسوم التخطيطية البيومناخية، والتي تساعد في صياغة أنظمة التصميم الملائمة لمختلف المناخات.

ويرى الكاتب أن مقاييس الراحة المختلفة توضع من أجل بلدان تتمتع بأحوال مناخية مختلفة وتمر بمراحل من التطور الاقتصادي. ونعرض في هذا الفصل البيانات والمناقشات التي تدعم هذه الفكرة، وحدود الراحة المقترحة وفقاً لذلك.

## الاستجابات البشرية للبيئة الحرارية:

ينتج الجسم الحرارة عن طريق التأيض (التحول الغذائي) وتنتقل هذه الحرارة إلى البيئة عن طريق الحمل والإشعاع (خسارة الحرارة «بالجفاف »). إذ يمكن أن يكون تبادل الحرارة بالجفاف بالطبع إيجابياً أيضاً (اكتساب حرارة) عندما يكون الهواء و/أو درجات الحرارة للسطوح المحيطة أعلى من حرارة الجلد (بحدود ٩٣°F 93°F). ويتم فقد بعضاً من الحرارة عن طريق تبخر الماء في الرئتين، نسبة إلى درجة التنفس التي تتسب تباعاً إلى درجة التأيض. وإذا لم تكن خسارة الحرارة بالجفاف كافية للتوازن مع درجة التأيض (وبشكل خاص عندما يكون تبادل الحرارة الجافة إيجابياً)، عندها ينتج العرق في الغدد الجلدية ويقدم تبخر العرق التبريد الإضافي المطلوب.

كما يعتمد التبادل بالحمل على درجة حرارة الهواء المحيط والسرعة الدينامية. بينما يعتمد التبادل الإشعاعي في بيئة داخلية على معدل درجة حرارة السطوح المحيطة (درجة الحرارة الإشعاعية المتوسطة). كما يعتبر الإشعاع الشمسي من الخارج مصدراً رئيسياً لاكتساب الحرارة الإشعاعية. وهكذا تعتمد درجات جميع أشكال تبادل الحرارة على خاصيات الملابس.

كما لاتلعب الرطوبة أي دور في فقدان الحرارة بالجفاف. فهي تؤثر على درجة التبخر من الرئتين. وعلى عكس الأفكار الشائعة، فإن الرطوبة المحيطة لاتؤثر على درجة تبخر العرق، إلابفعل أحوال شديدة. وفي الحقيقة، لاتنخفض درجة تبخر العرق في مستويات الرطوبة الأعلى، وربما ترتفع حتى. والسبب هو في أنه في أحوال الرطوبة المنخفضة يتبخر العرق داخل المسامات الجلدية عبر جزء صغير من المنطقة الجلدية. وعندما ترتفع الرطوبة وتنخفض القدرة التبخرية للبيئة، ينتشر العرق في منطقة جلدية أكبر. وبهذا يمكن أن يحافظ على درجة التبخر المطلوبة في منطقة جلدية أكبر برطوبة أعلى. وبفعل أحوال معينة مع وجود رطوبة عالية

تنخفض فعالية التبريد لتبخر العرق، عندما يؤخذ جزء من الحرارة الكامنة للتبخر من الهواء المحيط بدلاً من الجلد (جيفوني ١٩٧٦، جيفوني وبلدينغ ١٩٦٢). وفي مثل هذه الحالات ينتج الجسم المزيد من العرق ويقوم بتبخيره بغية الحصول على التبريد الفيزيولوجي المطلوب.

كما تؤثر حالة تبادل الحرارة للجسم أيضاً على الاستجابات الحسية للأحوال الحرارية البيئية، مولدة إحساساً إما بالراحة العامة، أو عدم الارتياح للبرد، عدم الارتياح للحر، و/أو عدم الارتياح الناتج عن الجلد المرطب. وعلى أي حال، تعد العلاقة بين حالات تبادل الحرارة للجسم والاستجابات الحسية علاقة معقدة ولاتلائم الارتباط البسيط والصريح.

ويمكن أن نطبق مفهومين رئيسين للبحث في الاستجابات البشرية للبيئة الحرارية. إذ يركز أولهما على «الراحة الحرارية»، المعروفة بالاستجابات غير الموضوعية (الشخصية) للأشخاص، بينما يركز الآخر على الاستجابات الفيزيولوجية الموضوعية للعوامل المناخية والنشاط الفيزيائي، بهدف تقدير مستوى الضغط الحراري. وتبحث الدراسات الخاصة بالراحة عادة (وليس بشكل دائم) في سلوك الأشخاص الذين يرتدون ملابس خفيفة، أثناء الراحة أو أثناء أداء عمل مقيم (في وضع الجلوس). ويتجلى التطبيق الأساسي لنتائج هذه الطريقة في صياغة حدود مناخية داخلية كمية، أي ما يسمى بـ «مقاييس الراحة»، بالنسبة للأبنية المكيفة بالهواء، وهي عادة المكاتب والأبنية العامة.

وتتضمن الاستجابات الحسية للبيئة الحرارية إحساساً بالبرد، سواء أكان عاماً أو موضعياً، وبالحر، و(في الأحوال الرطبة الحارة) تتضمن شعوراً بعدم الارتياح الناتج عن الجلد الجاف أو الرطب إلى حد كبير (تعرق محسوس). وقد يرتبط الإحساس بعدم الارتياح للحر أو عدم الارتياح الناتج عن الجلد الرطب ببعضهما البعض أو لايرتبطان.

وربما يفضل الناس الذين يعيشون في أقاليم حارة أو يتأقلمون مع البيئة الحرارة السائدة درجات الحرارة الأعلى وهم لايعانون في البيئات الحارة بالقدر الذي يعاني منه الناس الذين يعيشون في الأقاليم الباردة. وسنناقش هذه المسألة بتفصيل أكبر في هذا الفصل في قسم آثار التأقلم الحراري.

ولقد شملت الأبحاث الفيزيولوجية عن الاستجابات البشرية للبيئة الحرارية جميع الأحوال المناخية التي يواجهها الناس، من الحر الشديد إلى البرد الشديد. إذ تعد الاستجابات البشرية الفيزيولوجية الرئيسة تجاه التغييرات في البيئة الحرارية بمثابة درجة العرق، درجة القلب (heart rate)، درجة حرارة الجسم الداخلية، ودرجة حرارة الجلد. كما يعتبر مجال الراحة مجالاً محدوداً داخل المجال الإجمالي للاستجابات الحرارية.

ولقد تم تطوير وتصديق النماذج الرياضية التي تتنبأ بدقة معقولة بهذه الاستجابات الفيزيولوجية ـ كوظائف للأحوال المناخية، العمل (درجة التأيض)، وخاصيات الملابس، متضمنة أثر التأقلم (جيفوني ١٩٦٣، جيفوني ١٩٧٦، جيفوني وبلدينغ ١٩٦٢، جيفوني وغولدمان ١٩٧١، ١٩٧٢، ١٩٧٣أ).

وتعد درجة العرق الاستجابة الفيزيولوجية الأكثر حساسية للضغط المناخي وذلك أثناء وضع الراحة والنشاط المقيم، وعلى الجانب الدافئ من مجال الراحة. وهذه الدرجة تقاس عادة بلغة درجة خسارة الوزن.

كما تترابط الاستجابات الحسية والفيزيولوجية البشرية تجاه البيئة الحرارية إلى حد ما. إذ يرتبط الإحساس بالبرد مع درجة حرارة أخفض للجلد. بينما يرتبط الإحساس بالحر، بالنسبة للأشخاص في وضع الراحة أو المقيمين مع درجة حرارة أعلى للجلد ودرجة عرق أعلى أيضاً. وهكذا يعكس كل منهما شحنة حرارية أعلى في الجسم.

وسنناقش الاستجابات الحرارية الحسية في القسم التالي. (كما تمت مناقشة الاستجابات الفيزيولوجية بتفصيل أكبر في جيفوني ١٩٧٦).

**الإحساس الحراري:**

كما ذكرنا سابقاً، فإن الاستجابات الحرارية الحسية الرئيسة هي الإحساس بالبرد والإحساس بالحر وعدم الارتياح الناتج عن التعرق المحسوس.

ويدرج الإحساس الحراري غالباً على مقياس عددي بسبع نقاط (في الدراسات الخاصة بالراحة)، ضمن المجال الكلي الممتد من الإحساس بالبرد الشديد إلى الحر الشديد:

١. بارد

٢. فاتر

٣. فاتر قليلاً

٤. محايد (مريح)

٥. دافئ قليلاً

٦. دافئ

٧. حار

ويستخدم في بعض الأحيان مقياس مدرج من -٣ (بارد) إلى +٣ (حار) للتعبير عن الأحاسيس الحرارية ذاتها، مع رقم (٠) معبراً عن الإحساس المحايد. كما يعتبر المجال من فاتر قليلاً إلى دافئ قليلاً بمثابة أحوال مقبولة بوضوح.

كما أظهرت دراسات خاصة بالاستجابات الحرارية الحسية أجراها المؤلف (وهي جيفوني ١٩٦٣، ١٩٧٦، جيننغز وجيفوني ١٩٥٩)، بأنه بعد التأقلم، يواصل الشخص تقييم وضعه الخاص من الراحة أو مستوى عدم الارتياح. كما يمكن له أن يميز بين المستويات المختلفة للمقياس السابق بالإضافة إلى تحديد المستويات المتوسطة بشكل مستمر. فعلى سبيل المثال، قد يظهر «تقدير» لدرجة ٤,٢ شعوراً بأن الوضع غير

«مريح» بشكل كامل ولكنه غير «دافئ قليلاً» حتماً. وعلى أي حال، فإن لكل فرد تفسيره الخاص للمعنى الحسي للمستويات المختلفة. وهكذا فإن هناك اختلافات هامة بين الأفراد وفق القيم المخصصة لبيئة حرارية مفترضة. ولذلك ففي الدراسات الحسية، يعد معدل الاستجابة لمجموعة ما أهم من الاستجابة الفردية، كما تعد الاستجابة النسبية لعوامل بيئية مختلفة أهم من الاستجابة المطلقة في مزيج مناخي مفترض لهذه العوامل.

**عدم الارتياح للبرد:**

في البحث في عدم الارتياح للبرد يجب التمييز بين الإحساس «العام» بعدم الارتياح للبرد وعدم الارتياح «الموضعي» (في الأقدام، الأصابع، وغيرها). إذ نشعر بعدم الارتياح الموضعي بشكل رئيسي في الخارج، عندما يكون العزل الكلي للملابس كافياً، ولكنه في نقاط معينة لايكون كافياً أو يكون ذلك الجزء من الجسم مكشوفاً. كما قد نشعر بعدم الارتياح الموضعي أيضاً في الداخل عندما يتراكم الهواء البارد تحت الأبواب والنوافذ الزجاجية الكبيرة تحت الأرضية، بينما عندما يكون الهواء في مستويات أعلى بدرجة حرارة أعلى، قد تشعر الأقدام ببرد شديد، ولكن دون الإحساس العام بالبرد. كما قد يشعر الأشخاص الذين يجلسون بالقرب من الصقل (صناعة الزجاج) بعدم الارتياح الموضعي فقط في جانب الجسم المواجه للصقل.

كما توجد علاقة متبادلة بين الإحساس غير الموضعي بالبرد والاستجابة الفيزيولوجية لدرجة حرارة الجلد المتوسطة. ونشعر بالإحساس الحراري «العام» بعدم الارتياح للبرد، بفعل أحوال مناخية مستقرة، عندما تنخفض درجة حرارة الجلد المتوسطة تحت المستوى الأدنى استجابة لموضع الراحة، والذي يكون أثناء النشاط المقيم بحدود ٣٢-٣٣oF (90-92oC).

ويتجلى عدم الارتياح الحراري في الأبنية في المناخات الباردة بثلاثة مظاهر:

١. تأمين هواء مريح في الداخل ودرجات حرارية إشعاعية متوسطة للأسطح الداخلية للجدران الخارجية.

٢. منع التبريد الإشعاعي الاتجاهي، من مناطق الصقل الكبيرة عادة.

٣. منع «التيارات» الباردة: عدم الارتياح الناشئ من تيارات الهواء البارد الموضعية، عادة من الشقوق بين وحول الأحزمة sashes (اختراق الريح).

كما يعتمد المستوى الحقيقي لمنطقة الراحة، وخاصة في الشتاء، بشكل كبير على الملابس. فبارتداء ملابس دافئة، من الممكن أن نخفض درجة الحرارة في الداخل إلى حد كبير ونحافظ على الوضع المريح. وتكون درجة الحرارة المقبولة في الداخل أثناء الليل، وأثناء ساعات النوم، عادة أخفض منها أثناء النهار وساعات المساء.

## عدم الارتياح للحر:

نشعر بالإحساس الحراري بعدم الارتياح للحر، تحت أحوال مستقرة، عندما ترتفع درجة حرارة الجلد المتوسطة فوق المستوى الأعلى استجابة لوضع الراحة، والذي يكون أثناء النشاط المقيم بحدود ٣٣-٣٤°F (91.4-93.2°C). وعلى أي حال فإن درجة ارتفاع حرارة الجلد عندما ترتفع درجة الحرارة المحيطة فوق منطقة الراحة، تكون أقل بكثير من درجة انخفاضها عندما تنخفض درجة الحرارة المحيطة تحت منطقة الراحة. والسبب هو خفض تبخر العرق لدرجة ارتفاع حرارة الجلد.

كما تنخفض درجة حرارة الجلد لوضع الراحة، Ts، بارتفاع درجة التأيض، M، (نشاط فيزيائي) كنتيجة لدرجة تبخر أعلى للعرق وتحويل تدفق الدم من الجلد الخارجي إلى العضلات العاملة، ولقد تم اكتشاف هذه النقطة من قبل فانجر (وسنناقشها لاحقاً في هذا الفصل في «معادلة فانجر للراحة»).

## التعرق المحسوس:

يرتبط الارتياح الحراري أيضاً بحالة محايدة من رطوبة الجلد (بغياب عدم الارتياح الناتج عن الجلد الرطب). وبينما يظهر الإحساس الحراري في الأحوال الحارة والباردة معاً، يوجد التعرق المحسوس فقط في الجانب الدافئ من منطقة

الراحة، في مزيج مخصص لدرجة الحرارة، الرطوبة، حركة الهواء، الملابس، والنشاط الفيزيائي. وهو يحظى بأهمية خاصة في المناخات الرطبة ـ الحارة.

ولهذا الإحساس حدين منفصلين. يظهر الحد الأدنى عندما يكون الجلد جافاً تماماً ويظهر الحد الأعلى عندما تتبلل الملابس والجسم بكامله بالعرق. وبين هذين الحدين هناك مستويات متوسطة يمكن تحديدها بوضوح تام.

وعندما تكون درجة التبخر أسرع بكثير من إفراز العرق، يتبخر العرق عند نشوئه من مسامات الجلد، دون تشكيل طبقة سائلة على سطح الجلد. وعندها نشعر بـ «جفاف» الجلد.

وبزيادة درجة العرق، أو الدرجة المخفضة للتبخر، ينتشر العرق عبر الجلد، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة المنطقة الفعالة التي تحدث فيها عملية التبخر. وبهذا يستطيع الجسم الحفاظ على درجة برودة تبخر كافية للحفاظ على التوازن الحراري عبر مجال واسع من الاحتمال التبخري للبيئة. وعلى أي حال، فإن الجلد الرطب يسبب عدم الارتياح على الرغم من كونه أحد المكونات الجوهرية في نظام الترموستات الفيزيولوجي.

وتحدد درجة التعرق من خلال التوازن بين إنتاج الحرارة بالتأيض وخسارة الحرارة بالحمل والإشعاع. وبفعل الأحوال الرطبة ـ الحارة، تنخفض فعالية التبريد الناتجة عن التعرق، عندما يتبخر جزء من العرق من خلال الشعر والملابس ويستمد جزءاً من الطاقة من الهواء المحيط بدلاً من الجسم. وعندها تفوق درجة العرق والتبخر الحاجة لتبريد التبخر لتعويض فعالية التبريد المخفضة.

كما يمكن التعبير عن مفهوم التعرق المحسوس بواسطة المقياس العددي التالي:

٠- جفاف الجسم والجبين بشكل كامل

١- لزوجة الجلد (دبق) ولكن تكون الرطوبة خفية

٢- الرطوبة مرئية

٣- رطوبة الجسم والجبين (العرق يغطي السطح، تشكيل القطرات)

٤- رطوبة الملابس جزئياً

٥- رطوبة الملابس بشكل كامل تقريباً

٦- تبلل الملابس

٧- العرق يبلل الملابس

وفي دراسات فيزيولوجية عديدة (جيفوني ١٩٦٣، جيننغز وجيفوني ١٩٥٩)، سُجل الإحساس غير الموضوعي بالتعرق المحسوس تحت شروط تم التحكم بها في مجال واسع من الأحوال المناخية.

ولقد طور الكاتب نموذجاً رياضياً يتنبأ بالاستجابة غير الموضوعية للتعرق المحسوس تجاه الأحوال المناخية، الملابس، ودرجة التأيض. ووجد بأن الإحساس برطوبة الجلد (وفق المقياس السابق) يمكن أن يعبر عنه كوظيفة للنسبة Emax/E، حيث E هو التبريد البخاري المطلوب، والذي يعادل الضغط الحراري الفزيولوجي (البيئي والأيضي الإجمالي)، وحيث Emax هي القدرة التبخرية للهواء (جيفوني ١٩٦٣، ١٩٧٦).

$$P.S = -٠.٣ + ٥ (E/E/max)$$

$$E = (R + C) + (W - M)$$

$$Emax = PV0.3^{*} (35-HRa)$$

M = درجة التأيض

W = العمل الميكانيكي الذي يؤديه الجسم

C = تبادل الحرارة بالحمل

تبادل الحرارة بالإشعاع = R

السرعة الدينامية عبر الجسم (s/m) =V

نسبة رطوبة الهواء (gr/kg) = HRa

معامل يعتمد على نوع الملابس = P

جميع وحدات الطاقة مقدرة بالكيلوكالوري Kilocalories في الساعة (جيفوني ١٩٧٦).

## العلاقة بين الإحساس بالحر والتعرق المحسوس:

قد نشهد هذين النوعين من عدم الارتياح في آن واحد أو أن نشعر بأحدهما دون الآخر. وبالإمكان أن يتأثر كل منهما بسرعة الهواء بطرق مختلفة. ولذلك، ففي أوضاع مناخية مختلفة قد يسود أحد هذين المصدرين من عدم الارتياح. وسيوضح المثال التالي مثل هذه الحالات.

ففي الصحراء تكون الرطوبة منخفضة جداً، وتكون سرعة الرياح عالية. ويعود عدم الارتياح بشكل خاص إلى الشعور بالحر الزائد. ويكون الجلد في الواقع جافاً إلى حد كبير، على الرغم من ارتفاع درجة التعرق (بحدود ٢٥٠ gr/hr،0.55lb/hr بالنسبة لشخص في وضع الاستراحة). ويفوق احتمال التبخر درجة إفراز العرق، بحيث يحدث تبخر العرق داخل المسامات الجلدية. وقد يتحول جفاف الجلد المفرط بحد ذاته إلى مصدر للإثارة. ويمكن تخفيف عدم الارتياح عن طريق خفض سرعة الرياح على الجلد (من خلال إغلاق الفتحات على سبيل المثال) وبشكل أساسي عن طريق خفض درجة الحرارة المحيطة.

وبعكس حالة الصحراء، يعود عدم الارتياح في إقليم رطب ـ دافئ، خصيصاً في الأحوال التي يكون فيها الهواء ساكناً، إلى رطوبة الجلد المفرطة. حيث تكون درجة حرارة الهواء في مثل تلك الأقاليم غالباً تحت ٢٦oF (79oC)، وتكون درجة إفراز

العرق، أثناء النشاط المقيم، أخفض (بحدود ٦٠ lb/hr،gr/hr 0.13 ، لكل شخص). وعلى الرغم من انخفاض درجة التعرق، يصبح الجلد رطباً بسبب انخفاض احتمال تبخر الهواء الرطب الساكن، ويتم الحفاظ على التوازن الحراري الفيزيولوجي على الرغم من انخفاض احتمال التبخر، بسبب تحقق درجة التبخر المطلوبة في منطقة رطبة أكبر من الجلد. وبذلك، فعندما تزداد السرعة الدينامية بشكل مفاجئ، قد يترافق الإحساس بالبرودة أيضاً مع عدم الارتياح بسبب الجلد الرطب إلى أن يجف الجلد إلى حد كافٍ.

كما يتم تخفيف عدم الارتياح بسبب الرطوبة الجلدية بشكل أفضل في غياب إزالة الرطوبة عن طريق الحفاظ على سرعة عالية بما يكفي للهواء بحيث يمكن الحصول على التبخر المطلوب لمنطقة رطبة أصغر من الجلد. ويتجلى الخيار الآخر في ارتداء ملابس ذات نفاذية أعظم (أو قلع معظم ما نرتديه، كما هو مألوف على الشاطئ).

كما أن هناك بالطبع العديد من الحالات المناخية حيث ينشأ عدم الارتياح الحراري من الآثار المجتمعة للإحساس بالحر والتعرق المحسوس. إذ يمكن أن تكون السرعة الأعلى للهواء في الداخل فعالة جداً في تخفيف عدم الارتياح، وبشكل خاص عندما تكون درجة حرارة الهواء متدنية بحدود ٣٣°F (91.5°C).

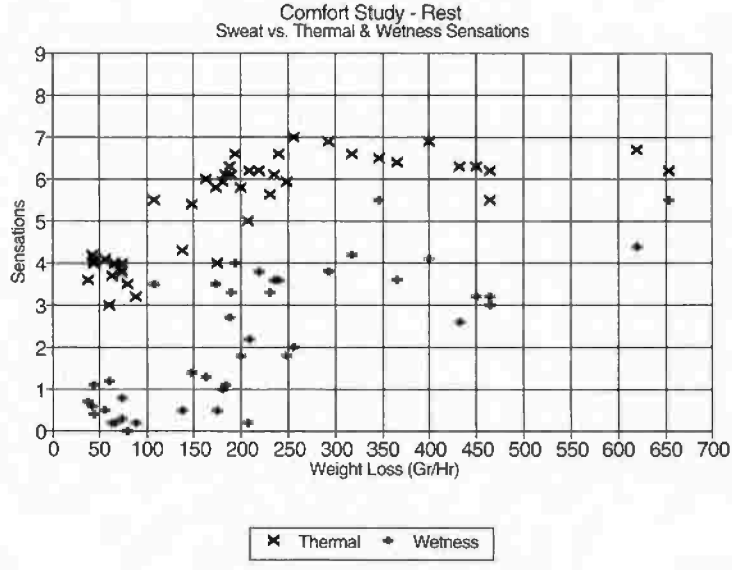
كما يمكن الحفاظ على حدود الحرارة والرطوبة في الراحة المقبولة عن طريق أناس مقيمون في أحوال يكون فيها الهواء ساكناً وبسرعة دينامية بحدود ٢s/m (٤٠٠ ft/min)، كما يتبين لاحقاً في هذا الفصل.

## العلاقة بين ضغط الحرارة الفيزيولوجي (درجة التعرق) والإحساس الحراري:

في الجانب الحار من مجال الراحة، يستجيب كل من درجة العرق (المعبرة عن الضغط الفيزيولوجي) والإحساس الحراري بالحر للتغييرات في درجة الحرارة،

الرطوبة، والسرعة الدينامية. وعلى أي حال، فإن هناك اختلاف رئيسي في شكل الاستجابات الحسية والاستجابات الفيزيولوجية. حيث تكون الاستجابة الفيزيولوجية للحرارة المرتفعة طولية تقريباً إلى مستوى الاحتمال الأعلى، فوق ٥٠F٥ (122oC). ومن ناحية أخرى، لاتكون القدرة غير الموضوعية على التمييز بين «المستويات» المختلفة لعدم الارتياح، كما تحددها المقاييس المألوفة، طولية.

ويوضح هذا الاختلاف في «قياس» الاستجابات في الشكل ١-١، والذي يبين العلاقة المتبادلة بين خسارة الوزن المقاسة (التي تمثل درجة العرق) والاستجابات غير الموضوعية للأشخاص للأحاسيس الحرارية ورطوبة الجلد أثناء النشاط المقيم. ولقد تم استخلاص البيانات من بحث مكثف في الآثار الحسية والفيزيولوجية للأحوال المناخية، درجة التأيض، وخاصيات الملابس (جيفوني ١٩٦٣).



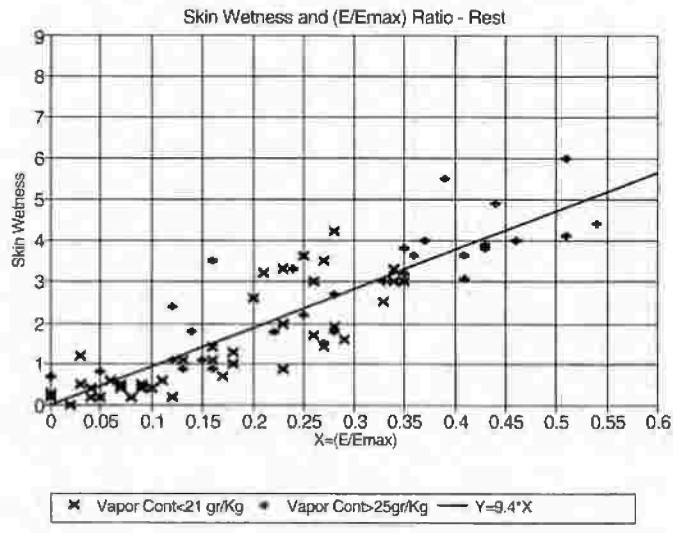

**الشكل ١-١ العلاقة المتبادلة بين درجة العرق المقاسة والإحساس بالحر ورطوبة الجلد الذي يشعر به الأشخاص أثناء النشاط المقيم**

فقد ارتدى الأشخاص الخاضعين لسلاسل التجارب هذه ملابس صيفية رقيقة واشتركوا في نشاط مقيم استمر ثلاث ساعات. وتراوح مجال درجة الحرارة في

السلاسل المختلفة من ٢٠-١١٤٥ (68-F °C)، بينما تراوح حجم البخار من ٨-٢٨ (0.008-0.028 lb/lb gr/kg)، كما تراوحت السرعة الدينامية من ساكنة إلى ٤ m/s (٨٠٠ ft/min).

كما تمثل خسارة الوزن للأشخاص المقيمين الضغط المناخي الفيزيولوجي الكلي. ويمكن أن نرى من الشكل ١-١ بأنه فوق درجة العرق البالغة ٢٥٠ gr/hr تقريباً (٥٥.٠ lb/hr)، هناك علاقة طولية بالإحساس الحراري، من ٤ (مريح) إلى ٦ (دافئ). وعلى أي حال، لم يستطع الأشخاص التعبير بوضوح عن الإحساس غير الموضوعي بالحر («حار» و «حار جداً» أو «حار بشكل لايطاق »)، أو الإحساس برطوبة الجلد، في مستويات ضغط مناخي يعبر عنها بدرجة تعرق أعلى من (٢٥٠-٣٠٠ gr/hr 0.55-0.65 lb/hr).

وتعد العلاقة من رطوبة الجلد إلى درجة العرق ضعيفة. ففي المجال من ١٥٠-٢٥٠ gr/hr (0.33-0.55 lb/hr) لخسارة الوزن هناك امتداد واسع لرطوبة الجلد، من حوالي ٢.٠ (جلد جاف) إلى ٤ (الملابس رطبة جزئياً). ولقد نتج هذا التغاير في الاستجابة من الأحوال المختلفة لسرعة الرياح والرطوبة.




**الشكل ١-٢ العلاقة بين التعرق المحسوس (رطوبة الجلد) ونسبة Emax/E**

### العلاقة بين رطوبة الجلد ونسبة Emax:/E

يمكن تفسير الافتقار إلى علاقة جلية بين درجة العرق ورطوبة الجلد بحقيقة تسبب مستوى مفترض من الضغط الفيزيولوجي للحر، والذي تظهره درجة تعرق مفترضة، إما عن درجة حرارة مرتفعة في رطوبة منخفضة وسرعة رياح عالية (في الصحراء) أو عن درجة حرارة متوسطة في رطوبة عالية وهواء ساكن (مناخ رطب ـ حار). ففي الحالة الأولى، سيجف الجلد، عندما تبخر الطاقة التبخرية العالية للهواء العرق عند نشوئه من المسامات الجلدية. وفي الحالة الثانية، قد يتسبب عدم الارتياح بسبب الجلد الرطب، عندما ينتشر العرق على معظم الجلد بغية تمكين حدوث التبخر المطلوب على الرغم من الطاقة التبخرية المنخفضة للهواء.

ولقد استنتج جيفوني وجود ارتباط طولي للإحساس برطوبة الجلد بنسبة التبريد التبخري المطلوب (E = ضغط الحرارة الفيزيولوجي) والطاقة التبخرية للهواء (Emax). حيث يكون كل من E و Emax حسابيين (جيفوني ١٩٦٣، ١٩٧٦). ويبين الشكل ٢-٢ العلاقة بين التعرق المحسوس ونسبة Emax/E. وسنقوم بمناقشة أثر نسبة Emax/E لاحقاً في هذا الفصل.

## آثار المناخ وعوامل أخرى على عدم الارتياح للحر:

قد يتضمن عدم الارتياح للحر كما ذكرنا سابقاً إحساسين منفصلين وهما: الحر المحسوس والتعرق المحسوس. حيث يتأثر كل منهما بشكل مختلف بدرجة الحرارة، الرطوبة، والسرعة الدينامية. ويعتمد الأثر الذي تحدثه هذه العناصر المناخية بشكل كبير على الملابس والنشاط الفيزيائي. كما يعتمد الأثر الكمي لكل من هذه العوامل على مستويات العوامل الأخرى، حيث إن هناك تفاعلات قوية بين الآثار الحسية والفيزيولوجية.

### درجة الحرارة البيئية (الإشعاعية والهوائية):

تحدد درجة حرارة الهواء تبادل الحرارة بالحمل بين الجلد والهواء المحيط. حيث يكون معدل درجة حرارة الجلد، في الحالات الداخلية، بحدود ٣٣٣-٣٤-91) °C

93oF). وهكذا يفقد الجسم الحرارة مع درجة الحرارة الأدنى للهواء، بينما يكتسب حرارة مع الدرجات الأعلى عن طريق الحمل. كما تعتمد درجة تبادل الحرارة بالحمل على السرعة الدينامية (نسبة إلى الجذر التربيعي للسرعة). وتتأثر إلى حد كبير بقيمة العزل المتعلقة بالملابس (قيمة CLo).

كما تحدد درجة الحرارة الإشعاعية المتوسطة للمحيط (معدل درجة حرارة الأسطح المحيطة) تبادل الحرارة بالإشعاع بين الجلد والبيئة، والمشابه لأثر درجة حرارة الهواء على تبادل الحرارة بالحمل.

ويرتبط عدم الارتياح للحر داخل الأبنية بشكل أساسي مع درجة الحرارة البيئية والسرعة الدينامية عبر الجسم. إذ تعبر درجة الحرارة البيئية عن الأثر المجتمع لدرجة حرارة الهواء ودرجة الحرارة الإشعاعية المتوسطة للمحيط. فعندما لاتكون درجة حرارة الهواء نفس درجة الحرارة الإشعاعية، تكون درجة حرارة الكرة الأرضية، كما يتم قياسها بميزان الحرارة العالمي، قياساً معقولاً لدرجة الحرارة البيئية الناتجة.

كما أن أثر درجة الحرارة البيئية على الراحة واضح: إذ يؤدي ارتفاع درجة الحرارة دائماً إلى تغيير مطابق في الإحساس الحراري. وتقوم أحوال الرطوبة والسرعة الدينامية بتعديل حجم أثر درجة الحرارة بينما لاتستطيع تغيير منحاه.

### تأثير الرطوبة على الراحة:

يعد التأثير الذي تحدثه الرطوبة على التوازن الحراري البشري وعلى الراحة معقداً. إذ لاتؤثر الرطوبة بشكل مباشر على توازن الحرارة والاستجابات الفيزيولوجية أو الحسية البيئية الحرارية، باستثناء ما يتعلق بالتبخر داخل الرئتين. ويتجلى دور الرطوبة في تأثيرها على الاحتمال البيئي للتبخر وطريقة تكيف الجسم مع التغييرات في احتمال التبخر. كما تعد الطاقة التبخرية للهواء (Emax) وظيفة لرطوبة الهواء (ضغط البخار) والسرعة الدينامية.

وعندما لاتكون خسارة الحرارة نتيجة الجفاف (بالإضافة إلى التبخر داخل الرئتين) كافية لموازنة إنتاج الحرارة بالتأيض، يفعّل الجسم عمل الغدد العرقية للحصول على التبريد الإضافي المطلوب عن طريق التبخر (Ereg). وعند اعتبار تبادل الحرارة الجاف أحد وظائف درجة حرارة الإشعاع والهواء والسرعة الدينامية، يؤثر أي تغيير في هذه العناصر المناخية بشكل مباشر على التبريد التبخري المطلوب - أي الإحساس الحراري البشري بالحر وآليات التحكم الحراري الفيزيولوجية.

وقد تسبب الرطوبة المنخفضة جداً الإثارة: إذ يصبح الجلد جافاً إلى حد كبير وقد تظهر الشقوق في بعض الأغشية النسيجية (كالشفتين على سبيل المثال). بينما لايكون الأثر الذي تحدثه الرطوبة في مستوياتها الأعلى مباشراً على الفيزيولوجيا والراحة البشرية، بل من خلال تأثيرها على الطاقة التبخرية للهواء. إذ تخفض الرطوبة الأعلى الـ evaporative.

# ٢

# الميزات المعمارية المؤثرة في المناخ الداخلي

**مقدمة:**

تؤثر العديد من ميزات التصميم المعماري على المناخ الداخلي، وذلك عن طريق تكييف أربعة أشكال للتفاعل بين البناء وبيئته:

أ- التعرض الشمسي الفعال للعناصر غير الشفافة والمصنوعة من الزجاج لغلاف البناء (جدرانه وسقفه).

ب- اكتساب الحرارة الشمسية الفعال للبناء.

ت- درجة اكتساب الحرارة من الهواء المحيط بالنقل والتوصيل، أو خسارتها للهواء المحيط.

ث- احتمال التهوية الطبيعية والتبريد السلبي للبناء.

كما نناقش في هذا الفصل ميزات التصميم الرئيسة التي تؤثر على بعض تفاعلات البناء مع البيئة المذكورة أعلاه أو جميعها، وهي:

- تخطيط البناء (الشكل).
- أحوال التظليل والتكييف orientation للنوافذ.
- التكييف وألوان الجدران.
- حجم وموقع النوافذ من منظور التهوية.
- تأثير أحوال التهوية لأحد المباني على درجات الحرارة الداخلية.

ويبحث الفصل الرابع في تأثير مواد البناء على اكتساب وخسارة البناء للحرارة، ودرجات الحرارة الداخلية الناتجة. بينما نناقش في الفصل التاسع أثر المنظر الطبيعي للموقع على المناخ الداخلي.

وفي التعامل مع موضوع تكييف البناء هناك أثرين منفصلين للتكييف: وهما أثره على التعرض الشمسي للبناء (التكييف وفقاً للشمس)، وعلى احتمال التهوية (التكييف وفقاً لاتجاه الرياح).

كما أن هناك تفاعلات هامة بين تأثيرات ميزات التصميم تلك، بحيث قد يعتمد الأثر الكمي لإحدى هذه الميزات (كالتكييف على سبيل المثال) إلى حد كبير على تفاصيل التصميم المتعلقة بالميزات الأخرى (وهي في هذه الحالة: تظليل النوافذ، ولون الجدران، والسقف). ولذلك، ففي مناقشة الأثر الذي تحدثه إحدى ميزات التصميم، تنشأ مرجعيات متكررة back-and-forth لهذا الاعتماد على الأحوال المحددة للميزات الأخرى.

ونناقش في الفصل الأول مواضيع الراحة البشرية وعلم مناخ الأبنية، وبتفصيل أكبر في (جيفوني Givoni ١٩٧٦).

## تأثيرات تخطيط البناء على المناخ الداخلي:

تشير عبارة التخطيط في سياق هذا الفصل إلى إحكام خطة المنزل. وهناك تعابير أخرى تصف هذه الميزة وهي الشكل، أو تركيبة البناء.

ويتجلى التأثير الرئيس للتخطيط، من منظور المناخ الداخلي، في الأثر الذي يحدثه على المنطقة السطحية للغلاف، نسبة إلى المنطقة الأرضية وحجم الفضاء (الحيز)، وبالتالي على درجة تبادل البناء للحرارة مع الخارج. كما يؤثر أيضاً على احتمال التهوية الطبيعية والتنوير الطبيعي للبناء.

كما تحدد نسبة المنطقة السطحية لغلاف البناء إلى حجمها أو المنطقة الأرضية، من جهة، التعرض النسبي للإشعاع الشمسي، ومن جهة أخرى، تعرضه للهواء المحيط.

وهناك حالة خاصة لتخطيط البناء تتعلق بالمساحة، أو الحيز، المحاط بالجدران والمحجوب جزئياً عن التأثير الكامل للهواء الخارجي. وتنتشر هذه التركيبة بشكل شائع في الأقاليم ذات المناخ الجاف ـ الحار. إذ ربما تختلف الأحوال المناخية ضمن الفناء، وأثرها على المناخ الداخلي للبناء المحيط بها إلى حد كبير استناداً إلى تفاصيل التصميم المتعلقة بالفناء. ونناقش هذا الأمر بالتفصيل في الفصل العاشر الذي يبحث في الخطوات الرئيسة للتصميم بالنسبة للأقاليم الجافة ـ الحارة.

### اكتساب وخسارة الحرارة:

بقدر ما تكون خطة البناء محكمة، بقدر ما تكون المنطقة السطحية المكشوفة للجدران أو السقف أصغر، بالنسبة لحجم أو منطقة أرضية مفترضة للبناء. وكنتيجة لذلك، ينخفض تبادل الحرارة عن طريق التوصيل بين البناء والهواء المحيط. ففي الفصول والأيام التي يكون فيها المنزل إما مكيفاً بالهواء أو مدفئاً، تحد المنطقة السطحية الأصغر من حاجة المنزل للطاقة. وبعكس ذلك، فعندما تكون خطة المنزل منتشرة spread out، تسبب المنطقة السطحية الأكبر اكتساباً أو خسارة أعظم للحرارة واستهلاك أكبر للطاقة لمعدات التكييف الهوائي.

### احتمال التهوية:

يقال بشكل عام بأنه كلما كان البناء أكثر انتشاراً spread out، كلما كان شكله مخالفاً أو شاذاً، وكلما كان احتمال التهوية المتقاطعة cross-ventilation أفضل. وعندما تكون مساحة الجدران الخارجية بالنسبة لمنطقة أرضية مفترضة أكبر، تظهر فرص أكبر لتوفر الفتحات التي ستلتقط الرياح من اتجاهات مختلفة. كما يتيح البناء المنتشر أيضاً فرصاً أعظم للتهوية المستقلة والمباشرة لغرف عديدة في البناء.

كما قد تقدم الخطة المنتشرة فرصاً أفضل ليس بالنسبة للتهوية الطبيعية فحسب بل للإضاءة النهارية الطبيعية أيضاً، والمزيد من الحرية والمرونة في تصميم الفضاء (الحيز). وربما تمكن أيضاً من الحصول على تبريد أسرع في الفصول

والساعات التي يمكن تأمين الراحة فيها من خلال التهوية الطبيعية، وبذلك تحد من الفترة الزمنية التي تظهر فيها الحاجة للتكييف الهوائي.

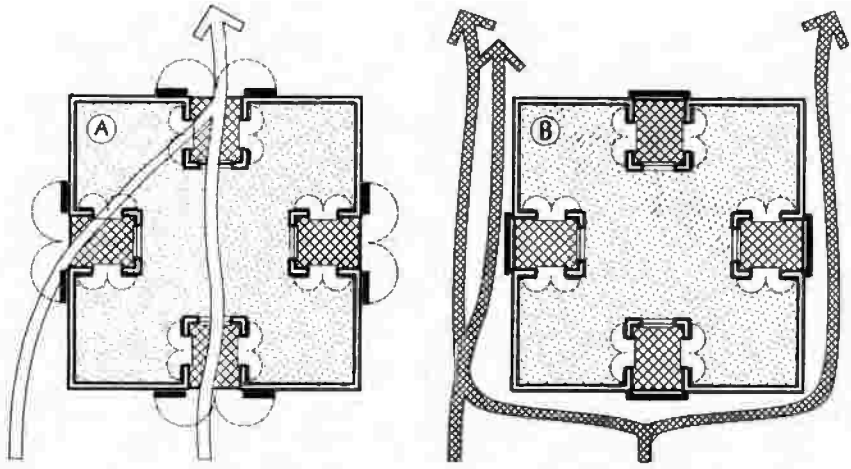
ويحظى موضوع الإضاءة النهارية، وعلاقتها بتركيبة البناء، بأهمية خاصة في الأبنية المكتبية الكبيرة حيث تشكل الإضاءة الكهربائية نفقة أساسية، بالإضافة إلى مساهمتها في شحنة التكييف الهوائي. إذ يمكن للشريط المحيطي لبناء محكم كبير، على طول الجدران الخارجية، أن يحتوي على نوافذ وإضاءة نهارية. كما يجب أن تعتمد المنطقة «الجوهرية» للبناء فقط على الإضاءة الكهربائية وأن تتطلب تبريداً على مدار السنة نظراً لعدم قدرتها على خسارة الحرارة الداخلية التي تنتج عن الإضاءة، المعدات، والناس، عن طريق أي آلية طبيعية لخسارة الحرارة، وحتى في فصل الشتاء في الأقاليم الباردة. وتتجلى أحد الطرق الخاصة بالتصميم للحد من النفقات واستهلاك الطاقة بالإضاءة والتكييف الهوائي بوضع نتوءات وفراغات (ارتدادات) في خطة البناء، بحيث تزيد من طول الجدران الخارجية نسبة إلى المساحة الأرضية.

## التركيبة القابلة للتغيير للأبنية السكنية:

هناك غالباً تعارض في الأهداف بين التصميم من أجل تعزيز التهوية الطبيعية، والذي يتطلب بناءاً منتشراً، والتصميم من أجل حفظ الطاقة عندما يكون البناء إما مدفئاً أو مكيفاً بالهواء، عندما تظهر رغبة أكبر بالتركيبة المحكمة. وقد يكون الحل المثير، وبشكل خاص في حالة الأبنية السكنية في الأقاليم التي يكون فيها فصل الصيف جافاً. حاراً والشتاء بارداً، في القدرة على تغيير تركيبة البناء: أي إحكامه في الشتاء وجعله منتشراً spread out في الصيف، عندما تكون التهوية الوافرة مرغوبة معظم الأوقات.

وبالإمكان تصميم بناء بتفاصيل خاصة تجعله محكماً عندما تتم تدفئته أو تبريده بالهواء، ومنتشراً وشاذاً في شكله عندما تتم تهويته طبيعياً. فعلى سبيل المثال،

يستطيع أحدهم تصميم بناء بشرفات، مرتدة نحو الداخل ومحاطة من جوانبها بالغرف المجاورة، والتي ينبغي أن تجهز بنوافذ كبيرة متحركة و/أو مصاريع shutters معزولة للنوافذ، كما يوضح الشكل ٢-١.




الشكل ٢-١ مخطط لبناء شرفات مرتدة نحو الداخل، ومجهزة بنوافذ متحركة ومصاريع معزولة.

فعندما تفتح النوافذ ومصاريعها، تصبح الشرفة حيزاً شبه مفتوح، بحيث تؤمن خيار التهوية للغرف المجاورة من خلال النوافذ والأبواب المفتوحة عليها. ومن جهة أخرى، عندما تغلق النوافذ و/أو المصاريع، تصبح واجهة البناء ملساء، بحيث تحد من المنطقة التي تتم فيها خسارة الحرارة، بينما تصبح الشرفة جزءاً من الحيز الداخلي.

ونناقش موضوع التركيبة القابلة للتغيير بتفصيل أكبر في الفصل العاشر الذي يبحث في الأقاليم الجافة ـ الحارة، حيث يمكن أن تكون مثل هذه التركيبة أكثر فعالية.

## التأثيرات الحرارية لأحوال تظليل وتكييف النوافذ:

تقوم النوافذ بالعديد من الوظائف في الأبنية، مثل تأمين التواصل المرئي والسمعي مع الخارج، رؤية المشاهد الجذابة (عندما تتاح)، التهوية الطبيعية،

والإضاءة النهارية. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تعمل كعناصر في أنظمة التبريد والتدفئة الشمسية السلبية.

وهناك حاجة نفسانية مشتركة لإدراك ما يحدث في الخارج: كالتغييرات في الطقس، ضوء الشمس، والغيوم العابرة، والتقلب والتغييرات في حياة النباتات المحيطة بنا، الأزهار وأوراق النبات، و «المعلومات» المتعلقة بالناس خارج المبنى، وما إلى ذلك.

فعندما يتيح موقع البناء رؤية مشاهد جذابة، سواء أكانت طبيعية كالجبال، الوديان، أو إطلالات البحار، أو مشاهد عمرانية كالشوارع والأبنية الجذابة، تتيح النوافذ لنا القدرة على رؤية تلك المناظر. وبالطبع ففي بعض الأحيان تظهر حاجة أيضاً للابتعاد عن البيئة الخارجية: لتجنب الضجيج وحجب ضوء النهار. ولذلك تعد النوافذ، وبشكل خاص عندما تكون قابلة للفتح، العنصر «الطبيعي» للبناء والذي يؤمن التواصل مع المحيط الخارجي.

وبالتالي، لاينبغي أن تكون اعتبارات الطاقة العامل الوحيد الذي يحدد حجم وتكييف النوافذ في مناخ ما. ففي الواقع، من الممكن الحد من الآثار غير المرغوب بها للنوافذ في تكييف مفترض (على سبيل المثال النوافذ الغربية ـ الاكتساب الشمسي المفرط في الصيف) وكذلك ضمان أثرها النافع (مثل الاستفادة من الرياح الغربية من أجل التهوية) من خلال تفاصيل ملائمة للتصميم، كما سنناقش لاحقاً.

وتعتبر النوافذ، والمناور غالباً في الطوابق العليا، مصدراً للإضاءة النهارية للداخل. إذ لا تظهر الرغبة بالإضاءة النهارية من أجل حفظ الطاقة فحسب بل تفضل عادة (نفسياً) على الإضاءة الكهربائية. وهكذا تحدد تفاصيل الموقع، الحجم، وتظليل النوافذ نوعية وكمية الإضاءة الداخلية.

ولطالما كانت الفتحات المصنوعة من الزجاج في الجدران تقليدياً بين الوسائل الأولية لصياغة وتعريف الخاصية المعمارية لأحد الأبنية. كما يعد الجزء الكلي

للجدار المخصص للنوافذ، بالإضافة إلى شكل وتوزيع النوافذ على الحائط، بين العناصر الرئيسة للصياغة المعمارية لواجهات البناء. ويبحث هذا الفصل في تأثير تصميم النوافذ، بما فيه تظليلها، على المناخ الداخلي. كما نناقش تأثير تصميم النوافذ على التهوية والتبريد السلبي في الفصل الرابع.

### حركة الشمس والإشعاع الشمسي:

يحدد موضع الشمس شدة الإشعاع الشمسي الذي يصطدم بالأسطح العديدة للبناء، كالجدران والنوافذ مع تكييفات مختلفة وأسقف لمنحدرات مختلفة. حيث تتبع الشمس نماذج سنوية ويومية قابلة للتنبؤ بدقة، بحيث يمكن التنبؤ بشدة الإشعاع الذي يقع على مساحة مفترضة للأبنية في ساعات وفصول مختلفة، كما يمكن التحكم بما تحدثه من تأثير عن طريق التصميم. وتتعلق التفاصيل الهامة للتصميم بشكل البناء، تكييف واجهاته الرئيسة، تظليل النوافذ، وألوان الجدران والسقف، بالإضافة إلى تفاصيل التصميم الأخرى الخاصة بالتكييفات المختلفة، والهادفة إلى الحد من التأثير الشمسي أو زيادته إلى أقصى درجة، استناداً إلى المناخ وأهداف التصميم المتصلة به.

### شدة الإشعاع الشمسي الذي يصطدم بسطح ما:

يتغير مقدار الإشعاع الشمسي الذي يصدم أحد أسطح بناء ما، أو جدار، أو سقف باستمرار كنتيجة لتغير موقع الشمس في السماء. كما تعتمد النماذج اليومية والسنوية لحركة الشمس في السماء على خط العرض للموقع الذي نتحدث عنه (أي بعدها، جنوباً أو شمالاً، عن خط الاستواء). فبالنسبة لخط عرض مفترض تعد تلك النماذج متناظرة symmetrical فيما يتعلق بخط الاستواء.

كما يمكن أن يصور موقع الشمس في أي وقت (تاريخ وساعة) رياضياً من خلال زاويتين: ارتفاعها (A)، وزاوية السمت (Z). فالارتفاع هو الزاوية القائمة للشمس فوق الأفق. وزاوية السمت هي زاوية توضع الشمس شرق أو غرب الشمال الحقيقي true north.

لنتخذ موقعاً في نصف الكرة الشمالي في الأوصاف التالية لحركة الشمس. (على أي حال، فبسبب التناظر symmetry، يتكرر موقع الشمس في نصف الكرة الشمالي بعد ستة أشهر، مع استبدال الشمال بالجنوب).

كما وتعتمد شدة الإشعاع الشمسي المباشر الذي يصل إلى سطح الأرض، والذي يقاس إلى الشعاع، IDN، على الارتفاع الشمسي، A، ومعامل تبدد extinction الغلاف الجوي E. ويحتسب بالصيغة:

$$IDN = I_o \exp(E/\sin A)$$

حيث $I_o$ هو «الثابت الشمسي»، وهو اسمياً الإشعاع في قمة الغلاف الجوي: ١٥٥٠ W/ m2 . 492 Btu/h/ft2 ).

كما يتعمد معامل تبدد الغلاف الجوي، E، على المناخ (صفاء السماء) ومستوى تلوث الهواء في الموقع الذي نتحدث عنه. حيث تكون قيمته حوالي ٠,٠٧ عند تكون السماء صافية في الشتاء في منطقة جافة. أما في منطقة رطبة في الصيف، تكون قيمته بحدود ٠,٠٢. وفي منطقة عمرانية ملوثة في مناخ رطب قد تكون حوالي ٠,٣، حتى عندما تكون السماء ملبدة بالغيوم.

وبالنسبة لجدار عمودي أو نافذة بتكييف مفترض (زاوية بين الاعتيادي Normal إلى الجدار والجنوب، Zw)، قد تكون «زاوية الاستناد» «Bearing angle» للشمس ببساطة:

$$ZB - Z = b$$

وبارتفاع مفترض للشمس، A، وزاوية استناد إلى الجدار، b، من الممكن احتساب زاوية السقوط incidence angle للشمس مع أخذ الجدار بعين الاعتبار:

$$O = \cos A^* \cos b$$

ويكون الإشعاع الشمسي الإجمالي الذي يصطدم بسطح مفترض حاصل جمع العناصر الثلاثة وهي: الإشعاعات المباشرة، المنشورة، والمنعكسة.

**الإشعاع الشمسي المباشر:**

يعطى الإشعاع الشمسي المباشر، IDV، الذي يقع على سطح عمودي بزاوية سقوط O، بالصيغة:

$$IDV = IDNcosO$$

وتكون زاوية السقوط للشمس على سطح أفقي (سقف على سبيل المثال)، Oh، $A-90_o$. وعندها يكون الإشعاع المباشر الذي يصطدم بسطح أفقي، :IDH

$$IDH = IDNsinA$$

**الإشعاع الشمسي المنشور:**

يأتي الإشعاع الشمسي المنشور الذي يصل إلى منطقة أفقية، IdH، من قبة السماء الكاملة. ويختلف مقدار الإشعاع المنشور إلى حد كبير استناداً إلى ضبابية الغلاف الجوي وتلبده بالغيوم. فقد يتراوح بين ٥٪ من الإشعاع الإجمالي، في يوم صاح في إقليم جاف، إلى حوالي ٨٠٪ في يوم غائم.

وفي الأحوال التي تكون فيها السماء صافية، ينسب IdH إلى الإشعاع الاعتيادي المباشر، IDN، مع ثابت نسبي، k، لحوالي ٠,٧٥ من معامل تبدد الغلاف الجوي، E، والذي يستخدم في حساب IDN في المقام الأول. وبالتالي يمكن تقديره بالصيغة:

$$IdH = k^* IDN \text{ or } IdH = 0.75E^* IDN$$

كما يمكن استخدام قيمة k = ٠,١٢ كتقارب جيد لتقدير الإشعاع المنشور أثناء أيام الصحو.

ويأتي الإشعاع المنشور من السماء والذي يصل إلى حائط في حقل مفتوح، Idv، فقط من نصف قبة السماء. ولذلك يكون:

$$Idv = 0.5^* IdH = 0.5^* k^* IdN$$

وفي منطقة عمرانية مكتظة بالمباني تحجب المباني المجاورة بالطبع جزء كبير من قبة السماء.

### الإشعاع الشمسي الأفقي الإجمالي:

يعد المقدار الإجمالي للإشعاع الشمسي الواقع على سطح أفقي واضح (أرض واضحة أو سقف أفقي)، ITH، حاصل جمع الإشعاع المباشر والمنشور. وهو اسمياً:

$$ITH = IDH + IdH$$

### الإشعاع الشمسي المنعكس:

يتم عكس الإشعاع الشمسي من أسطح غير مضيئة في جميع الاتجاهات (انعكاس منشور) ويعد الإشعاع المنعكس من الأرض والجدران المحيطة أحد وظائف ألوان تلك الأسطح، حيث يحدد اللون انعكاسيتها (أو albedo) بالنسبة للإشعاع الشمسي (الموجي القصير). إذ تعتمد انعكاسية الأرض المكشوفة على نوع التربة، المتراوحة بين حوالي ٧٠٪ بالنسبة للكثبان الرملية و٢٠٪ بالنسبة للتربة المخصبة المظلمة. بينما تختلف انعكاسية أسطح الاسمنت والإسفلت مع «عمر» تلك الأسطح، إذ تصبح أكثر إضاءة مع الزمن. وتعتمد انعكاسية أوراق النبات على نوع النباتات، حيث تختلف تبعاً للفصول. وبأخذ ذلك الاختلاف بالحسبان، لابد من اعتبار أي أرقام تستخدم في حسابات شدة الإشعاع الشمسي المنعكس كتقديرات فقط.

ويتعلق الإشعاع الشمسي المنعكس بشكل رئيسي بالجدران والنوافذ، إذ «تطل» الأسقف بشكل أساسي على السماء. حيث ينعكس الإشعاع الشمسي الذي يصطدم بالأرض في جميع الاتجاهات ويصل نصف الإشعاع المنعكس من منطقة أرضية غير محدودة فقط إلى جدار مفترض. ولذلك، وبالنسبة لمعدل انعكاس مفترض، r، بالإمكان احتساب الإشعاع المنعكس الذي يصل إلى جدار عمودي في حقل مفتوح، IRV، بالصيغة:

$$IRV = (r * ITH) / 2$$

وفي منطقة عمرانية مكتظة بالمباني يكون الإشعاع المنعكس أكثر تعقيداً. إذ يكون الإشعاع المنعكس من جدار بانعكاسية مفترضة لسطحه منسوباً للإشعاع الشمسي الذي يصطدم بذلك الجدار، والذي يتغير أثناء اليوم. وفي كل حالة معينة يجب أن يأخذ نموذج الإشعاع على الأسطح المحيطة، وانعكاسيتها، بالحسبان عندما نرغب باحتساب الإشعاع المنعكس بدقة.

### الإشعاع الشمسي الذي يقع على جدار عمودي:

يكون الإشعاع الشمسي الإجمالي الذي يصل إلى جدار ما، IV، حاصل جمع الإشعاعات المباشرة، والمنشورة، والمنعكسة. وهو اسمياً:

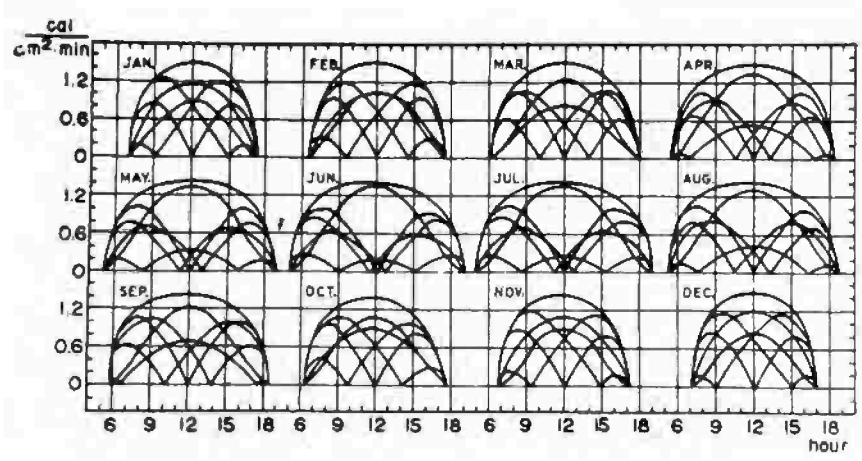
$$IV = IDV + IdV + IRV$$

ويبين الشكل ٢-٢، المأخوذ من جيفوني ١٩٧٦، نماذج يومية للإشعاع الشمسي الذي يصطدم بالجدران (والنوافذ) في تكييفات مختلفة خلال السنة.

### الخاصيات الضوئية للنوافذ:

تتجلى الخاصية الاستثنائية للزجاج بشفافيته الاختيارية بالنسبة للإشعاع (الحراري) الموجي الطويل والإشعاع (الشمسي) الموجي القصير. إذ تبث الأنواع المختلفة للزجاج أجزاءً مختلفة للطيف الإشعاعي الشمسي، في مجال من ٠,٤ - ٢,٥ ميكرون. وفي الوقت نفسه تكون جميع أنواع الزجاج غير شفافة بالنسبة للإشعاع الموجي الطويل الصادر عن الأسطح الداخلية. ولذلك يخلق «الارتفاع التدريجي لحرارة الأرض greenhouse effect» - وهو اسمياً نشر الإشعاع الشمسي في البناء بينما يمنع ويعرقل الإشعاع الموجي الطويل في الداخل. وينتج عن الارتفاع التدريجي لحرارة الأرض ارتفاع لدرجة الحرارة الداخلية، أبعد من المستوى الذي قد ينتج عن تخلل الإشعاع الشمسي من خلال النوافذ المفتوحة. ويضاف هذا الأثر بالطبع إلى منع تبادل الحرارة بالنقل (التبريد) عن طريق الزجاج.

كما يمكن أن يقسم الطيف الشمسي بحد ذاته إلى ثلاث مجالات رئيسية: الأشعة فوق البنفسجية (طول الموجة أقل من ٠,٤ ميكرون)، الطيف المرئي (٠,٤-٠,٧ ميكرون)، والأشعة تحت الحمراء (فوق ٠,٧، إلى حوالي ٢,٥ميكرون). حيث تبث الأنواع المختلفة للزجاج أجزاء مختلفة لكل من هذه المجالات.




وعندما يقع الإشعاع الشمسي على زجاج نافذة، يقسم إلى ثلاثة أجزاء. إحداها ينعكس نحو الخارج دون إحداث أي أثر على درجة حرارة البناء. بينما يمتص الزجاج الجزء الثاني، مؤدياً إلى ارتفاع درجة حرارته، وينشر الباقي من خلال الزجاج إلى داخل البناء. وتعتمد الأحجام النسبية للأجزاء الثلاثة على نوع الزجاج، بالإضافة إلى زاوية السقوط الخاصة بالإشعاع. ونعرض لاحقاً في هذا الفصل تفاصيل حول أثر زاوية السقوط. كما يتم تحديد الأجزاء المختلفة للانتشار الشمسي من خلال تكوين و/أو معالجة الزجاج، وبالإمكان اختيار تحقيق مجال واسع لنسب تحويل الضوء-إلى-حرارة light-to-heat.

### معامل التظليل وعامل KE للزجاج:

تعرف نسبة إرسال الإشعاع الكلي لنوع زجاجي مفترض إلى نسبة لوح مفرد لزجاج صافي بمعامل التظليل، SC، لذلك الزجاج.

وعندما تكون وظيفة النوافذ نقل ضوء النهار إلى البناء، فإن أي ضوء يؤدي بشكل ملازم إلى إحماء الداخل بسبب تحويل كامل الطاقة الشمسية المرسلة في النهاية داخل البناء إلى حرارة. ويتم تحقيق النسب المختلفة لتحويل الضوء-إلى-حرارة والذي يميز جميع أنواع الزجاج المختلفة عن طريق تكييف مقادير المجالات المختلفة للطيف الشمسي، والتي إما أن يتم عكسها، أو امتصاصها، أو نشرها من خلال الزجاج. وهناك أنواع جديدة للزجاج ذات خاصيات ضوئية «ديناميكية» في مراحل البحث والتطوير.

ولقد اقترح سويتزر ات أل Sweitzer et al (١٩٨٦) من مختبر لورنس بيركيلي Lawrence Berkeley Laboratory (LBL) استخدام نسبة الإرسال المرئي إلى معامل التظليل، والذي أسماه بعامل Ke، كإحدى معايير تقييم أداء النوافذ.

وهكذا، يمكن أن يصنف الزجاج إلى أنواع عديدة، وفقاً لنشرها، انعكاسها، وامتصاصها الاختياري لأطوال موجة مختلفة للإشعاع مثل: الزجاج الصافي، الزجاج الماص للحرارة، الزجاج العاكس للحرارة، الزجاج الرمادي، الزجاج ذو قوة إشعاع منخفضة (Low-E)، وزجاج العزل الممتاز. ويمكن أن يميز كل منها بقيم U أو R ومعامل التظليل وعامل Ke الخاص به. ويبين الجدول ٢-١ قي مR، Ke،SC بالنسبة لأنواع الزجاج المختلفة (مأخوذ من Sweitzer et al. ١٩٨٦).

**تحويل الحرارة. المقاومة الحرارية للنوافذ:**

تشير عبارة عامل U إلى مقدار تحويل الحرارة من خلال أحد النوافذ تبعاً لاختلاف درجة الحرارة بين الحيز الداخلي والخارج. وتعد المقاومة الحرارية (قيمة R) للزجاج عكسية reciprocal للقيمة U الخاصة به. وتعتمد تلك الخاصيات على أربعة عوامل مستقلة لنظام النوافذ وهي:

- وجود وعدد الفراغات الهوائية بين طبقات الزجاج.
- خاصيات و/أو معالجات الأسطح والمواد الزجاجية.

- الغاز الذي يملأ الفراغات الهوائية.
- مواد وتفصيل هيكل النافذة.

### آثار الفراغات الهوائية في النوافذ:

تتوفر النوافذ بلوح واحد من الزجاج أو العديد من الألواح، وهي عادة لوحين، وفي البلدان الباردة يكون عددها ثلاثة مع فراغات هوائية (أو فسحات) بينها. وتدعم الفراغات الهوائية المقاومة الحرارية للنافذة، بحيث تخفض معامل تحويل الحرارة الكلي (قيمة U). إذ يتم تدفق الحرارة عبر الفراغات الهوائية بالنقل أو الإشعاع. ويعتمد عنصر النقل إلى حد ما على عرض الفراغ. كما يمكن خفض عنصر الإشعاع عن طريق معالجات خاصة للزجاج (بالنسبة لانعكاس الحرارة).

وتحدث قابلية التوصيل الحرارية للغاز الذي يملأ الفراغ الهوائي للنافذة أثراً هاماً على قيمة U الكلية. حيث يمكن ملأ الفراغات بغاز الأرغون أو الكريبتون، والذي يتمتع بقابلية توصيل أقل من الهواء. وبالتالي يمكن لقيمة U الكلية للنوافذ أن تختلف بشكل مادي، بعامل ما بين النوافذ ذات الطبقة الزجاجية الواحدة وتلك النوافذ ذات الطبقتين أو الثلاث طبقات والمملوءة بغاز خاص.

### أنواع الزجاج:

وفقاً للمعالجات الخاصة للزجاج، يتم تصنيع أنواع مختلفة للزجاج. وفيمايلي الأنواع الرئيسة الشائعة منها:

### الزجاج الصافي:

ينشر الزجاج الصافي أعلى مقادير من أطوال موجة الطيف الشمسي. وبالتالي فهو ينشر المقدار الأعلى من الإضاءة النهارية لكنه يسبب أيضاً أعلى اكتساب للحرارة الشمسية داخل البناء، وهي خاصية تزيد من شحنة التبريد في الصيف داخل البناء. أما في الشتاء، على أي حال، فقد يكون هذا النوع من الزجاج الأفضل للتدفئة السلبية للأبنية عن طريق الاكتساب الشمسي المباشر.

### الزجاج الماص للحرارة:

وهو يمتص بشكل انتقائي قسماً أكبر من الجزء (الحرارة) تحت الأحمر للطيف الشمسي، مقارنة مع امتصاصه للضوء المرئي. وبالتالي تكون نسبة إشعاع الضوء-إلى-حرارة لمثل هذا النوع من الزجاج أعلى منه بالنسبة للزجاج الصافي.

وترتفع درجة حرارة الزجاج ذاته كنتيجة للإشعاع تحت الأحمر الممتص. وهذا قد يؤدي إلى تدفق متزايد للحرارة عن طريق النقل والإشعاع الموجي الطويل إلى داخل البناء. وبذلك ربما يتم الحد من الأفضلية «الجلية» لهذا النوع من منظور اكتساب الحرارة.

وتحل هذه المشكلة بوضع زجاج ماص للحرارة كطبقة خارجية في النافذة المكونة من طبقتين من الزجاج. وبهذا الترتيب يتدفق معظم الطاقة الممتصة إلى الخارج وينقل جزء بسيط منها فقط إلى داخل البناء.

### الزجاج العاكس للحرارة:

يتم إنتاج الزجاج العاكس للحرارة عن طريق ترسيب غطاء معدني نقي شبه شفاف على سطح الزجاج، مما يعكس بشكل انتقائي جزء أكبر من الإشعاع الشمسي تحت الأحمر. وهكذا يتم خفض الاكتساب الكلي لحرارة الشمس، على الرغم من أنه يترافق غالباً بخفض بث الضوء أيضاً.

### الزجاج ذو قوة الإشعاع المنخفضة:

يتم إنتاجه عن طريق تغطية الزجاج بطبقة من الإشعاع الموجي الطويل الاختياري الذي يتمتع بقوة إشعاع منخفضة. حيث يحد من خسارة الحرارة الإشعاعية من الزجاج، والتي تكون في الجزء الموجي الطويل من طيف الإشعاع.

### زجاج العزل الممتاز:

يتمتع زجاج العزل الممتاز غالباً بوجود ثلاث طبقات زجاجية، حيث تكون الطبقة

الداخلية مع غطاء ذو قوة إشعاع منخفضة، وتملأ الفراغات بين الطبقات بغاز ذو ناقلية أدنى من الهواء، مثل الأرغون.

### الزجاج الرمادي والملون:

يمتص الزجاج الرمادي والملون الإشعاع المرئي أكثر من تحت الأحمر. وهو يستخدم بشكل رئيسي للحد من الوهج وضوء الشمس المفرط الآتي من النوافذ الكبيرة والجدران المصنوعة من الزجاج. حيث يقدر الضوء الممتص درجة حرارة الزجاج، أو وجهته course، بالإضافة إلى تدفق الحرارة نحو الداخل بفضل النقل والإشعاع الموجي الطويل.

ويبين الجدول ٢-٢ قيم R بـ (m2C/W)، ومعامل التظليل (SC)، والبث الشمسي (Ts)، والبث المرئي (Tv)، وعوامل Ke (Tv/SC) للعديد من النوافذ المكونة من طبقتين، والمأخوذة من سوليفان وسيلكوتيز Sullivan and Selkowitz.

كما يبين الجدول ٢-٢ قيم U في الشتاء (W-U) والصيف (S-U) (m2C/W)، ومعامل التظليل (SC)، البث الشمسي (Ts)، البث المرئي (Tv)، وعوامل Ke لأنواع الزجاج المتعددة، وبعضها بقيم عزل أعلى، كما قدمها Sullivan and Selkowitz ١٩٨٦. ويظهر آثار المعالجات ذات قوة الإشعاع المنخفضة والأرغون على قيم العزل والخاصيات الضوئية للنوافذ.

**الجدول ٢-١ قيم R، عوامل SC، Vt، و KE للزجاج المختار**

| النافذة | R | SC | Tv | Ke |
|---|---|---|---|---|
| عاكس ــ برونزي | ٠,٤٤ | ٠,٢٠ | ٠,١٠ | ٠,٥ |
| ملون بلون خفيف ــ برونزي | ٠,٣٥ | ٠,٥٧ | ٠,٤٧ | ٠,٨ |
| صافي | ٠,٣٥ | ٠,٨٢ | ٠,٨٠ | ١,٠ |
| قوة إشعاع منخفضة ــ برونزي | ٠,٥٣ | ٠,٤٢ | ٠,٤١ | ١,٠ |
| قوة إشعاع منخفضة ــ صافي | ٠,٥٣ | ٠,٦٦ | ٠,٧٢ | ١,١ |
| ملون بلون خفيف ــ أخضر | ٠,٣٥ | ٠,٥٦ | ٠,٦٧ | ١,٢ |
| قوة إشعاع منخفضة ــ أخضر | ٠,٥٣ | ٠,٤١ | ٠,٦١ | ١,٥ |

**الجدول ٢-٢ قيم U للفصل الشتاء (U-W) والصيف (U-S) بـ ($W/M^2C$)، معامل التظليل (SC)، البث الشمسي (Ts)، والبث المرئي (Tv)، وعوامل KE لأنواع الزجاج العديدة**

| النافذة | الغاز | U-W | U-S | SC | Ts | Tv | Ke |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| G-G* | الهواء | ٢,٨٥ | ٣,١٦ | ٠,٨٨ | ٠,٧١ | ٠,٨٢ | ١,١٥ |
| G-G-G | الهواء | ١,٨٦ | ٢,٢٠ | ٠,٧٩ | ٠,٦١ | ٠,٧٤ | ٠,٩٤ |
| G-EpG | الهواء | ٢,٣٤ | ٢,٦٣ | ٠,٨٦ | ٠,٦٤ | ٠,٧٣ | ٠,٨٥ |
| G-EsG* | الهواء | ١,٩٤ | ٢,٠٠ | ٠,٧٣ | ٠,٥٨ | ٠,٧٤ | ١,٠١ |
| G-EpG | الأرغون | ٢,٠٩ | ٢,٣٨ | ٠,٨٦ | ٠,٦٤ | ٠,٧٣ | ٠,٨٥ |
| G-EsG | الأرغون | ١,٦٢ | ١,٦٨ | ٠,٧٣ | ٠,٥٨ | ٠,٧٤ | ١,٠١ |
| G-EsG-G | الهواء | ١,٣٢ | ١,٥٣ | ٠,٧١ | ٠,٥٢ | ٠,٧١ | ١,٠٠ |
| G-Esg-G | الأرغون | ١,١١ | ١,٣٠ | ٠,٧٢ | ٠,٥٢ | ٠,٧١ | ٠,٩٩ |
| GEp* | | ٥,٠٥ | ٤,٥٤ | ٠,٩٢ | ٠,٧٥ | ٠,٨٠ | ٠,٨٧ |

ملاحظات:

G= طبقة الزجاج

Ep= قوة إشعاع منخفضة تساوي ٠,٣ و Es= قوة إشعاع منخفضة تساوي ٠,١٥ على كل جانب من الزجاج

(*) تشير إلى نوافذ تم اختبارها في مواقع دافئة

## أثر تكييف النوافذ الغير محجوبة:

عندما لا تكون النوافذ محجوبة، يعتمد أثرها الكمي على درجة الحرارة الداخلية على تكييفها، في ما يتعلق بالنماذج السنوية واليومية لشدة الإشعاع الشمسي على الأسطح العمودية. كما تعتمد نماذج الإشعاع التفاضلية في تكييفات مختلفة على ارتفاع موقع البناء. وينبغي التمييز بشكل خاص بين الارتفاعات القريبة من خط الاستواء (على سبيل المثال بين حوالي ١٥ درجة من خط الاستواء) والارتفاعات الأعلى.

فضمن المنطقة الاستوائية، لا يستمر الإشعاع الشمسي على الجدران الجنوبية والشمالية على مدار السنة بقدر ما يستمر الإشعاع الشمسي على الجدران الشرقية والغربية. وفي هذه المنطقة، تكون درجة حرارة الهواء على مدار السنة أعلى بحيث

تكون التدفئة المفرطة overheating صيفاً أهم من الحاجة للتدفئة في الشتاء (إلا فيما يتعلق بالمواقع ذات الارتفاع العالي عن مستوى البحر). ولذلك، لابد من تجنب النوافذ غير المحجوبة قدر الإمكان بالنسبة للجدران الشرقية والغربية باعتبارها مصادر للتدفئة المفرطة الكبيرة للداخل. وينبغي أن نشير على أي حال إلى أن المنطقة الاستوائية هي ضمن نطاق الرياح التجارية Trade Winds belt، حيث يأتي اتجاه الرياح بشكل رئيسي من الشرق. ولذلك تكون النوافذ الشرقية مرغوبة جداً في هذه المنطقة من أجل التهوية الطبيعية، والتي تعد غاية في الأهمية للشعور بالراحة في تلك المنطقة ذات الرطوبة العالية. ويتجلى الحل بالطبع في تأمين نوافذ شرقية بتظليل فعال، كما سنناقش لاحقاً. ففي الارتفاعات الأعلى، يكون النموذج السنوي للإشعاع الشمسي للنوافذ ذات التكييف المختلف مختلفاً جداً، وبشكل خاص عندما يتعلق الأمر بنافذة جنوبية (في نصف الكرة الجنوبي). فعند ارتفاع أعلى، يتلقى الاتجاه الجنوبي إشعاعاً أكبر في الشتاء، عندما تظهر الحاجة للتدفئة، بينما لا تتلقى النافذة الشمالية أي إشعاع في الشتاء، لكن تحصل على مقدار ضئيل جداً في الصيف. كما تتلقى النوافذ الشرقية والغربية إشعاعاً أكبر في الصيف مما تتلقاه في الشتاء.

## الفعالية والأثر الحراري لأدوات التظليل:

يمكن تقسيم أدوات التظليل بشكل واسع إلى نوعين رئيسيين: الثابتة والمتحركة.

### التظليل الثابت:

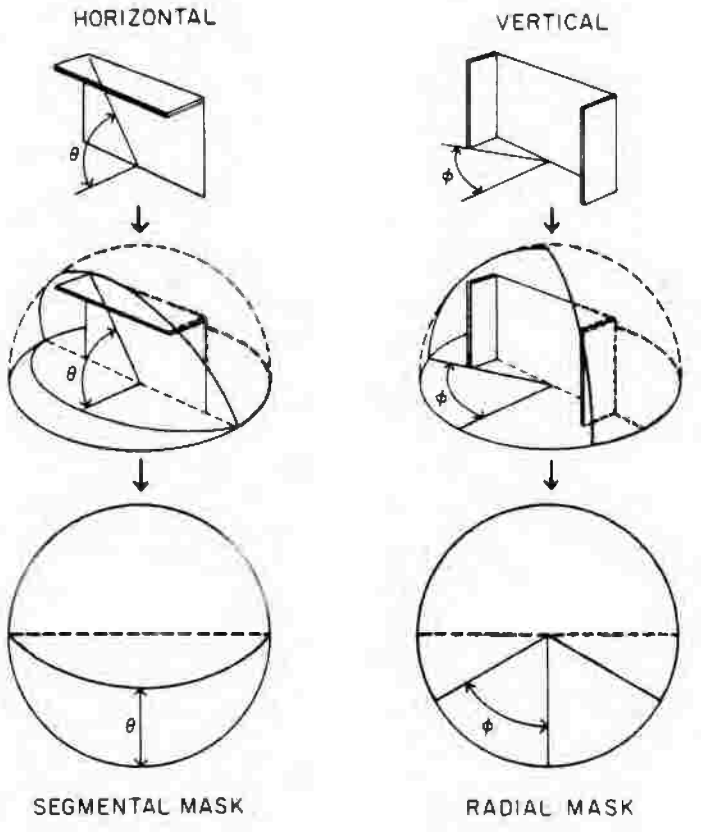
هناك نوعين رئيسيين لأدوات التظليل الثابتة: وهي الأفقية (المتدلية over-hangs)، والعمودية (الأذرع fins). كما يمكن جمعها في مجموعات مختلفة (أقفاص البيض egg crates). ويغطي كل من هذين النوعين نموذج تظليل متميز، يمكن وضعه بسهولة «كقناع تظليل». حيث يبين قناع التظليل الزوايا بين المركز الأدنى للمنطقة

الزجاجية (نقطة المرجعية) وحافات أداة التظليل. وبهذا يخطط الإسقاط الأفقي لقطعة السماء، والذي لا يتم استثنائه من رؤية نقطة المرجعية بواسطة أداة التظليل. فكلما كانت الشمس في قطعة السماء يصل بعض الإشعاع الشمسي إلى نقطة المرجعية. ويبين الشكل ٢-٣ (Givoni ١٩٧٦) أمثلة عن أقنعة التظليل لمتدلية أفقية وذراع عمودية.

وتكون المتدلية الأفقية أكثر فعالية بالنسبة للنوافذ الجنوبية. إذ تستطيع في الصيف حجب أشعة الشمس وأخذ الإشعاع شتاءً من الموقع الأخفض للشمس. وبينما تكون الشمس نفسها في ٢١ شباط و٢١تشرين الأول، لا يزال شهر شباط بارداً ويرحب فيه عادة بالتدفئة الشمسية ، بينما لا يزال شهر تشرين الأول دافئاً وقد يسبب تخلل الشمس تدفئة مفرطة. وعلى خلاف المعتقدات الشائعة، تكون المتدلية الأفقية أكثر فعالية في الصيف من الأذرع العمودية الثابتة حتى بالنسبة للنوافذ الشرقية والغربية.

كما يعتبر التظليل الثابت عادة جزءاً مكملاً لبنية البناء. فحالما يتم بناءه، تعتمد نماذج التظليل الثابت السنوية واليومية فقط على زاوية سقوط أشعة الشمس. ولا يمكن لأدوات التظليل هذه أن تضمن تكيفاً كاملاً للظل مع حاجات التظليل المتغيرة، بالرغم من أنه بوجود تصميم صحيح، قد يكون الأداء الكلي جيداً بشكل معقول، وبشكل خاص فيما يتعلق بالنوافذ الجنوبية.

وتظهر الأفضلية الجلية للتظليل الثابت في عدم حاجته للمعالجة من قبل السكان بالإضافة إلى صيانته المجانية أيضاً.




الشكل ٢-٣ أمثلة عن أقنعة التظليل لمتدلية أفقية وذراع عمودية

**التظليل المتحرك:**

نظراً لإمكانية تبديل تركيب أدوات التظليل المتحركة، يعد أدائها أفضل بكثير من أداء الأدوات الثابتة. وعلى أي حال، فلا بد من تعديل موضعها، سواء بشكل يومي أو فصلي، بما يتكيف مع النماذج المتغيرة لحركة الشمس وحاجات التظليل كما أنها تحتاج عادة إلى صيانة للحفاظ عليها في حالة جيدة.

ويمكن أن يكون التظليل المتحرك خارجياً أو داخلياً بالنسبة للزجاج. فمن المنظور الحراري هناك فرق هام جداً في أداء هذين النوعين ولذلك سنقوم بمناقشتهما بشكل منفصل.

### الأثر الحراري للتظليل في تكييفات مختلفة:

يحدد أثر تكييف النافذة على درجات الحرارة الداخلية بشكل كبير من خلال أحوال التهوية وأوضاع تظليل النوافذ. فعندما لا تكون النافذة محجوبة، أو لا يكون التظليل فعالاً، يدخل الإشعاع الشمسي من خلال النوافذ ويقوم مباشرة بتدفئة داخل البناء. ويعتمد المقدار والنموذج اليومي للإشعاع المتخلل على تكييف النافذة. وبالتالي يعتمد أثر الإشعاع المتخلل على درجات الحرارة الداخلية على أحوال التهوية. ولذلك فإن هناك تفاعلات قوية بين أثر تكييف النافذة والأحوال الخاصة بالتظليل وتهوية الحيز الذي نتحدث عنه. وسنناقش فيمايلي بعض الدراسات التجريبية حول هذا الموضوع.

لقد قام الكاتب بإجراء تحقيق مكثف حول أثر تكييف أحد النوافذ بفعل أحوال عديدة للتظليل والتهوية في محطة أبحاث البناء لتكنيون في حيفا، إسرائيل (جيفوني ١٩٧٦) (Is-، in Haifa،Building Research Station of the Technion rael). وتألف إعداد التجربة من أربعة نماذج متعاقبة متماثلة ١×١×١، مع جدران بلغت ثخانتها ١٥ سم مصنوعة من Ytong (وهو اسمنت خفيف الوزن). وكان لأحد الجدران التي استخدمت كنموذج نافذة بينما كان للجدار الخلفي فتحة أصغر مع لوح مصراع shutter-board معزول. وعندما تم فتح تلك الفتحة الصغيرة بينما بقيت النوافذ مغلقة أمكن للنماذج الحصول على تهوية بدرجة منخفضة من جانب واحد. وكان بالإمكان فتح النوافذ جزئياً بحيث يتم تأمين التهوية المتقاطعة مع فتح الفتحات الخلفية أيضاً.

كما جهزت النوافذ بأدوات تظليل (ستائر ضوئية venetion blinds أو ستارات من ألواح أفقية رقيقة تعدل زاويتها لإدخال الضوء أو حجبه) إما بيضاء أو خضراء غامقة. وتم تكييف النماذج الأربعة مع نافذتها التي تطل على أحد الاتجاهات الأربعة الأساسية. كما تم قياس درجة حرارة الهواء الداخلي، مع النوافذ المواجهة للتكييفات الأربعة، وفي أحوال مختلفة للتهوية والتظليل.

كما كانت مساحة النوافذ، نسبة إلى حجم النماذج، كبيرة أيضاً بهدف زيادة آثارها على تكييف النوافذ إلى أكبر حد وكذلك تفاعلها مع أحوال التهوية والتكييف.

وسنوضح نتائج أوضاع الاختبار التالية أدناه:pأحوز

- نوافذ مغلقة غير محجوبة. عدم تهوية النماذج.
- نماذج مغلقة. نوافذ بظلال عاتمة داخلية.
- تهوية النماذج فقط عن طريق الفتحة الخلفية (درجة تهوية منخفضة). نوافذ بظلال عاتمة داخلية.
- نماذج متمتعة بتهوية متقاطعة. نوافذ غير محجوبة (جيفوني ١٩٧٦).

ويبين الشكل ٢-٤ أ درجات حرارة الهواء في النماذج غير المتمتعة بالتهوية مع نوافذ غير محجوبة. فقبل شروق الشمس، كانت الأحوال الحرارية في جميع النماذج نفسها بشكل تقريبي، لكن أثناء النهار كان للنوافذ الموجهة بشكل مختلف درجات حرارة مختلفة بوضوح. وبعد شروق الشمس مباشرة، أظهر النموذج ذو النافذة الشرقية، كما هو متوقع، ارتفاعاً شديداً في درجة الحرارة. وكانت الدرجة القصوى الداخلية في النموذج ذي النافذة الشرقية أعلى بحوالي ٦° C (F°11) من الدرجة الخارجية القصوى. أما في النموذج ذي النافذة الغربية فكان ارتفاع درجة الحرارة معتدلاً حتى الظهيرة، ولكن بفضل التعرض للإشعاع المباشر في فترة ما بعد الظهر، ازداد الارتفاع ووصل إلى درجة قصوى أعلى بحوالي 11° C (F ° 20) من درجة الحرارة الخارجية القصوى.

بينما كان للنماذج بنوافذ جنوبية وشمالية غير محجوبة نفس الدرجات تقريباً، مع ارتفاع أقل بكثير للدرجة القصوى الداخلية فوق الخارجية. كما تسبب ارتفاع درجة الحرارة للنموذج المواجه للشمال جزئياً عن الإشعاع الشمسي الذي اصطدم بالزجاج في الصباح الباكر ووقت متأخر من الظهيرة.

ويبين الشكل ٢-٤ب نفس النماذج عندما تم حجب النوافذ بستائر ضوئية عاتمة. إذ يمكن أن نرى بأن العلاقة بين درجات الحرارة الداخلية والخارجية مشابهة للعلاقة في الشكل ٢-٤أ، على الرغم من أن ارتفاع درجة الحرارة الداخلية كان أقل، مما يشير إلى الفعالية المنخفضة للتظليل الداخلي العاتم.

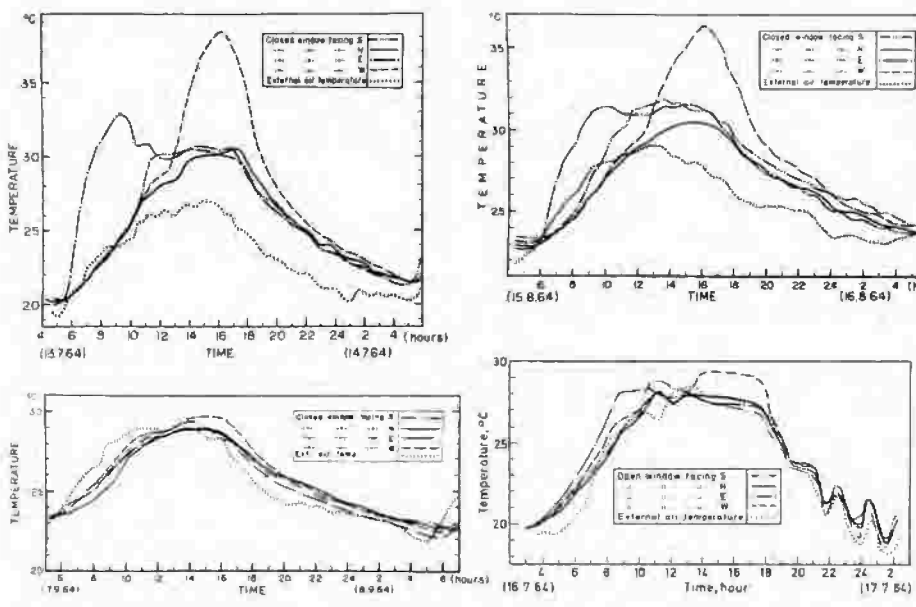
وتظهر هذه النتائج، على الرغم من المبالغة في المساحة النسبية الكبيرة للنوافذ، حساسية الأبنية غير المتمتعة بالتهوية مع نوافذ غير محجوبة، أو نوافذ محجوبة بواسطة أدوات داخلية غير فعالة، تجاه الأثر الذي تحدثه عملية التكييف.

كما يبين الشكل ٢-٤ج درجة الحرارة الداخلية للنماذج عندما تم إغلاق النوافذ وحجبها بستائر خارجية عاتمة وفتح الفتحة الخلفية الصغيرة (درجة تهوية منخفضة). إذ يمكن أن نرى بأنه مع التظليل الفعال، وحتى بدرجة تهوية منخفضة، يختفي أثر تكييفات النوافذ تقريباً. وبأن درجات الحرارة متشابهة في جميع النماذج.

ويبين الشكل ٢-٤د درجة الحرارة الداخلية للنماذج عندما كانت النوافذ بدون أي تظليل وتم فتحها جزئياً، مع فتح الفتحات الخلفية، لإحداث تهوية متقاطعة. حيث يمكن أن نلاحظ بأنه مع التهوية المتقاطعة، حتى عند عدم حجب النوافذ، فقد اختفى أثر تكييفات النوافذ، كما كانت درجات الحرارة في هذا التركيب متشابهة في جميع النماذج.

**ملاحظة: تقدير ارتفاعات درجة الحرارة الكمية في النماذج.**

في تقدير الارتفاعات الفعلية لدرجات الحرارة في النماذج مع تكييفات مختلفة، لا بد أن نأخذ بالحسبان بأن أحجام النوافذ كانت كبيرة جداً نسبة إلى حجم النماذج، بغية تشديد أثر التكييف. ففي الأبنية العقارية real buildings ستكون الفوارق الفعلية أصغر لكن ارتفاعات درجة الحرارة النسبية التي نحصل عليها في التكييفات المختلفة في أحوال متعددة للتهوية والتظليل قد تكون مشابهة لما حصلنا عليه في هذه الدراسة.




الشكل ٢-٤

درجات حرارة الهواء الداخلي في النماذج الحرارية مع أحوال تهوية وتظليل مختلفة.

أ- نوافذ مغلقة وغير محجوبة.

ب- نوافذ مغلقة مع ستائر داخلية عاتمة.

ت- ستائر خارجية عاتمة ودرجة تهوية منخفضة.

ث- تهوية متقاطعة بدون تظليل.

**التهوية، الكتلة الحرارية، ودرجات الحرارة الداخلية:**

ستحدث التهوية أثاراً مختلفة تماماً على درجات الحرارة الداخلية استناداً إلى النموذج اليومي للتهوية: سواء حدثت أثناء النهار أو بشكل متواصل في النهار والليل، أم تمت تهوية البناء فقط أثناء الليل بينما أغلق أثناء ساعات النهار. إذ تحدث التهوية النهارية أثراً صغيراً نسبياً على درجات الحرارة الداخلية للأبنية المحمية من الإشعاع الشمسي والتي تتجلى وظيفتها الرئيسة في تعزيز شعور السكان بالراحة مباشرة وهي تسمى «تهوية الراحة». ومن جهة أخرى، يمكن للتهوية الليلية، عندما يتم إغلاق البناء وعدم تهويته أثناء ساعات النهار، أن تخفض درجات الحرارة الداخلية إلى حد كبير في الأبنية ذات الكثافة العالية، وتسمى «التبريد عن طريق التهوية الليلية».

ويبحث الفصل الثالث في أثر التبريد عن طريق التهوية الليلية على درجات الحرارة الداخلية للأبنية ذات الكثافة العالية والأبنية ذات الكثافة المنخفضة، والذي تمت دراسته في كاليفورنيا. ونناقش في هذا الفصل أثر التهوية النهارية، بتفاعلها مع أثر الكتلة الحرارية.

لقد استخدم في هذه الدراسة بنائين، متشابهين جداً في مقاومتهما الحرارية لكن بمستويات مختلفة من الكتلة في جدرانهما. إذ كان لهما تصميم متماثل: مساحة ٢٤م٢ (٢٤٥ sq ft)، مقسمين إلى غرفتين بحجم واحد (شمال وجنوب)، مع ارتفاع سقف يبلغ ٢,٤م (٨٧). كما كانت أسقف جميع المباني متماثلة: كثافة منخفضة معزولة. وكان البناء الأول عالي الكثافة والثاني منخفض الكثافة.

يتمتع البناء منخفض الكثافة ببناء جدار دعامة: حيث جميع الجدران الخارجية مبنية من الفايبرجلاس fiberglass (وهو نوع من الرقاقات الليفية العازلة للحرارة) معزول لمقاومة تبلغ R-١١ (١,٤٩ sq ft hr E/Btu) (m2C/W). كما عزل السقف بفايبرجلاس في العلية (الغرفة العلوية) إلى مستوى R-١٩ (٣,٣٥ m2C/W). بينما

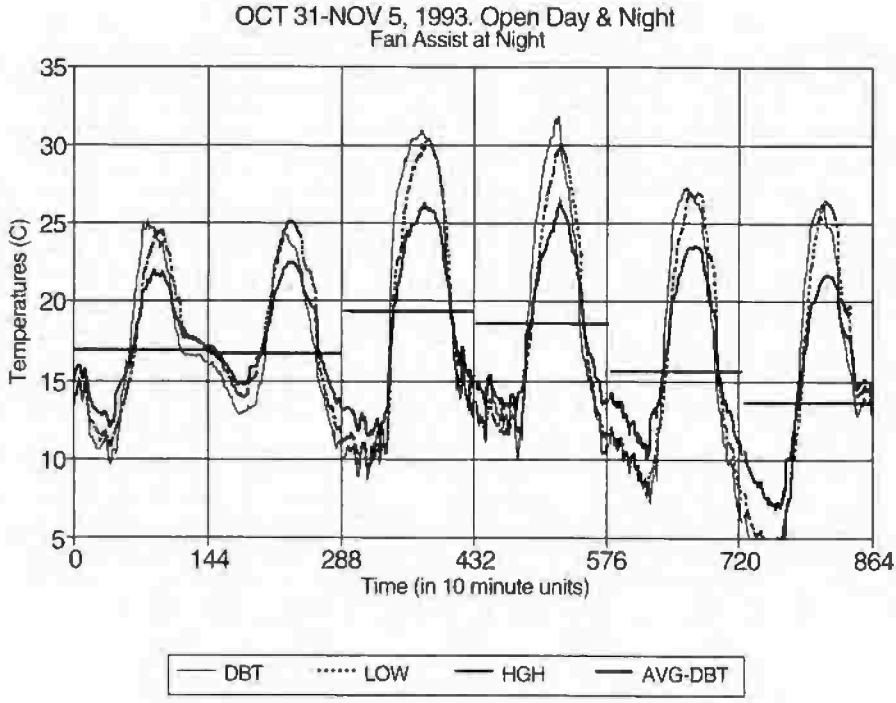
كان للبناء عالي الكثافة جدران من الاسمنت الصلب، بسماكة ١٠سم (٠,٣٣ ft)، معزولة خارجياً برغوة جامدة بنفس المستوى كالبناء المنخفض الكثافة. كما بني الجدار القاطع بين الغرفتين من الاسمنت الصلب أيضاً. وهكذا قدم هذين البنائين فرصة استثنائية لمراقبة أثر التهوية في الأبنية بمستويات مختلفة جداً للكتلة الحرارية.

وفي أيلول-تشرين الثاني ١٩٩٣، تم حجب البناءين وتهويتهما في الليل والنهار. ويبين الشكل ٢-٥ درجات الحرارة الداخلية والخارجية للبنائين أثناء الفترة من ٣١ تشرين الأول إلى ٥ تشرين الثاني ١٩٩٥. حيث يمكن أن نلاحظ بأن درجات الحرارة اليومية للبناء منخفض الكثافة، وعلى وجه الخصوص درجات الحرارة القصوى، تتبع عن قرب درجات الحرارة الخارجية. ومن جهة أخرى، فقد كانت درجات الحرارة القصوى للبناء عالي الكثافة أدنى من الحد الأقصى لدرجات الحرارة الخارجية. ولقد كان انخفاض درجة الحرارة القصوى أكبر عندما كانت درجات الحرارة الخارجية القصوى أعلى والتأرجحات اليومية أكبر. ولقد حصلنا على آثار متشابهة عبر كامل مدة التهوية المستمرة.

وإن للملاحظة التي تقضي بأن الأبنية عالية الكثافة التي تتم تهويتها بشكل متواصل تتمتع بدرجات حرارة داخلية قصوى أدنى من الأبنية منخفضة الكثافة مع نفس العزل الحراري، أهمية عملية بالنسبة لتصميم المباني في المناخات الرطبة-الحارة.

### التفاعل بين التكييف، التحكم الشمسي، والتهوية:

كما أظهرت الدراسات التجريبية التي تحدثنا عنها مسبقاً، فإن أثر تكييف النوافذ على اكتساب الطاقة ودرجات الحرارة الداخلية للأبنية يمكن أن يختلف بشكل كبير، استناداً إلى أحوال تظليل النوافذ والتهوية في الحيز الذي نتحدث عنه. وتركز المناقشة التالية على تأثير تكييف النوافذ في الصيف (كما في الشتاء حيث هناك أفضلية واضحة للنوافذ المواجهة لخط الاستواء - جنوباً في نصف الكرة الشمالي).




الشكل ٢-٥ درجات الحرارة الداخلية والخارجية لأبنية الاختبار في بالا، كاليفورنيا. حيث تم تظليل المباني وتهويتها نهاراً وليلاً

### الأبنية غير المتمتعة بالتهوية والنوافذ غير المحجوبة:

عندما لا يتم تظليل النوافذ بشكل فعال ولا تتم تهوية الحيز، تؤدي التكييفات المختلفة للنوافذ إلى اختلافات هامة في اكتساب الحرارة الشمسية. وإذا كانت الأبنية مكيفة بالهواء، تؤثر هذه الاختلافات على شحنة التبريد والطاقة المطلوبة للبناء. أما في حال لم تكن الأبنية مكيفة بالهواء، تكون النتيجة فروقاً هامة جداً في درجات الحرارة الداخلية وأوضاع الراحة المتعلقة بالسكان.

ويعد الاتجاه الغربي التكييف «الأسوأ» من هذا المنظور، إذ يتزامن وقت الطاقة الشمسية العظمى التي تقع على النافذة في الصيف وفق هذا التكييف مع زمن

درجة الحرارة الخارجية العليا وتقترب من أعلى درجة حرارة داخلية حتى دون اكتساب شمسي.

وفي أيام الصحو، تتلقى النوافذ الشرقية نفس القدر من الإشعاع الذي تتلقاه النوافذ الغربية، ولكن أثر الإشعاع في هذه الحالة يختلف إلى حد ما. إذ يصطدم الإشعاع بالنافذة الشرقية عندما لا يكون البناء قد دفئ بعد. وفي الصباح الباكر، يرحب بالإشعاع في معظم الأحوال، حتى في الأقاليم الحارة، عندما يعتبر تخلل بعض حرارة الشمس إلى الحيز مرغوباً من مفهوم الصحة والنظافة.

وفي العديد من الأقاليم (ككاليفورنيا على سبيل المثال) تكون سماء الصباح غائمة جزئياً غالباً بحيث يكون الاكتساب الشمسي الفعلي من خلال نافذة شرقية أقل منه بالنسبة لنافذة غربية. وعلاوة على ذلك، يسبب ارتفاع درجة الحرارة في الصباح، عندما لا يزال البناء بارداً، شعوراً أقل بعدم الارتياح مما يسببه في حال حدوثه في وقت يكون فيه البناء قد وصل إلى درجة حرارة قريبة من أقصاها.

كما يكون الاكتساب الشمسي للنوافذ الجنوبية والشمالية في الصيف عندما لا تكون محجوبة أقل بكثير من الاكتساب الشمسي للنوافذ الشرقية والغربية، بينما يكون تأثيرها على درجات الحرارة الداخلية في الصيف متشابهاً تماماً. أما في الشتاء، على أي حال، تتمتع النوافذ الجنوبية (في نصف الكرة الشمالي) بالتعرض الأفضل للشمس وتكون مفيدة جداً في تأمين تدفئة شمسية سلبية. وتكون النوافذ الشمالية عائقاً من المنظور الحراري، ولكنها لا تزال مفيدة جداً من أجل الإضاءة والمنظر الطبيعي.

### البناء غير المتمتع بالتهوية مع نوافذ محجوبة بشكل فعال:

لقد أظهرت هذه الدراسة بوضوح بأنه عندما تكون النوافذ محجوبة بشكل فعال، اسمياً بواسطة أدوات تظليل خارجية بالنسبة للزجاج، يكون لتكييفها أثراً صغيراً

جداً على الاكتساب الحراري للبناء وعلى درجات الحرارة الداخلية. ولهذه النتيجة تأثيرات بعيدة المدى على تقييم التأثيرات المناخية للنوافذ الغربية والشرقية. ففي العديد من الأقاليم في العالم يعد الاتجاه الرئيس للريح من الغرب (نطاق الرياح الغربية Westerlies belt) أو من الشرق (نطاق الرياح التجارية). كما تعتبر النوافذ الشرقية والغربية مفيدة جداً في تأمين التهوية الطبيعية إلى الحد الذي يتوفر فيه التظليل الفعال.

## البناء المتمتع بالتهوية مع نوافذ غير محجوبة:

لقد أظهرت الدراسات التجريبية بأنه عندما تتم تهوية الأبنية بشكل فعال أثناء ساعات النهار، يكون لتكييف النوافذ، والاختلاف في الاكتساب الشمسي المرتبط بها، أثراً صغيراً على درجات الحرارة الداخلية. فعندما تكون الأبنية متمتعة بالتهوية، لا يتم استخدام أية طاقة بالطبع من أجل التبريد بحيث لا يحدث تكييف النافذة أي أثر على الإطلاق على استخدام الطاقة بهدف التبريد.

## فعالية أدوات التظليل الثابتة في التكييفات المختلفة:

نظراً لكون الشمس أعلى بكثير في الصيف منها في الشتاء، ووصولها دائماً إلى أعلى ارتفاع عند الظهيرة، تعد المتدليات الأفقية فوق الزجاج أكثر فعالية بالنسبة للتحكم الشمسي عندما تطبق على الزجاج المواجه لخط الاستواء (جنوباً في نصف الكرة الشمالي). أما في الارتفاعات المنخفضة على وجه الخصوص، أي بين ٢٠ درجة شمال وجنوب خط الاستواء، يمكن للمتدليات الشمالية والجنوبية تأمين حماية فعالة من أشعة الشمس المباشرة، حيث تكون الشمس عالية جداً عندما يصطدم ضوئها بارتفاعات البناء تلك.

وفي دراسة لبعض الأحوال في إسرائيل (خط عرض بحدود ٣٢+)، تم احتساب فعالية التظليل لأدوات عديدة للتظليل في تكييفات مختلفة في جيفوني ١٩٧٦.

**وتضمنت أحوال التظليل:**

١. عدم وجود تظليل.

٢. متدلية أفقية فوق النافذة فقط (H).

٣. متدلية أفقية تمتد من الجوانب بشكل غير محدود (HOO).

٤. ذراع عمودية على الجانبين، تمتد فقط إلى ارتفاع النافذة (V).

٥. ذراع عمودية تمتد إلى الأعلى بشكل غير محدود.

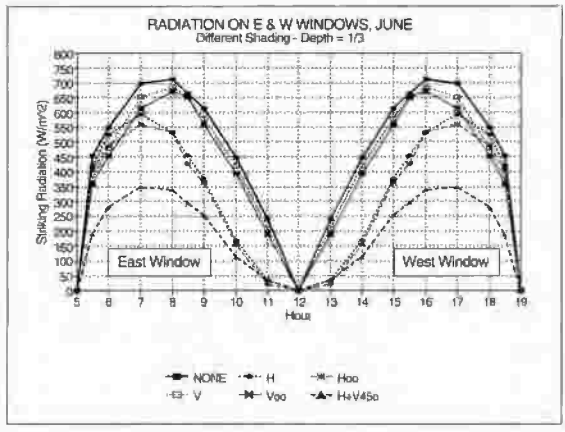
٦. متدلية أفقية + عنصر عمودي مائل بحدود ٤٥ درجة نحو الجنوب (H+V45o).

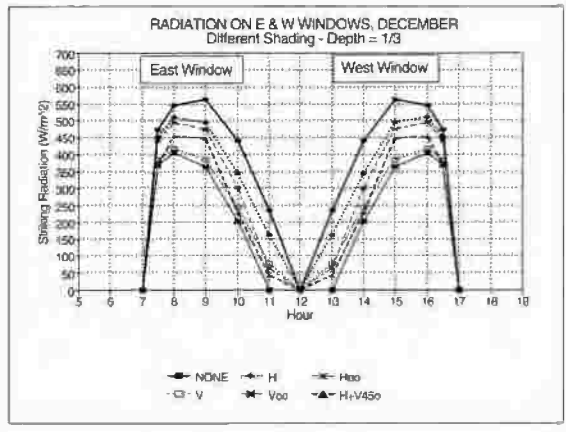
كما يبين الشكلان ٢-٦ و ٢-٧ بيانياً بعض نتائج هذه الدراسة. حيث يظهر الشكل ٢-٦ النماذج السنوية للإشعاع الشمسي الساقط على نافذة شرقية مربعة (١×١م) (١٠,٧ sq ft) مع أدوات تظليل ثابتة مختلفة تسقط على النافذة ثلث بعدها، في حزيران وكانون الأول. بينما يبين الشكل ٢-٧ أثر عمق الإسقاط projection لأدوات التظليل العديدة على الإشعاع الإجمالي الساقط في التكييفات الغربية والشرقية.

وكما نرى في هذين الشكلين، تبدي الأذرع العمودية الأداء الأسوأ في الصيف بالإضافة إلى الشتاء. ففي الصيف، عندما تكون الشمس عادة على الجدار الشرقي معظم ساعات الصباح وعلى الجدار الغربي في فترة ما بعد الظهيرة، تؤمن الأذرع العمودية المتعامدة مع الجدار حماية بسيطة جداً حتى في عمق كبير. بينما تؤمن المتدليات الأفقية حماية أفضل، على الرغم من عدم كفايتها. وفي الشتاء، من جهة أخرى، تغطي الأذرع ظلاً أكبر على النافذة من المتدليات الأفقية.

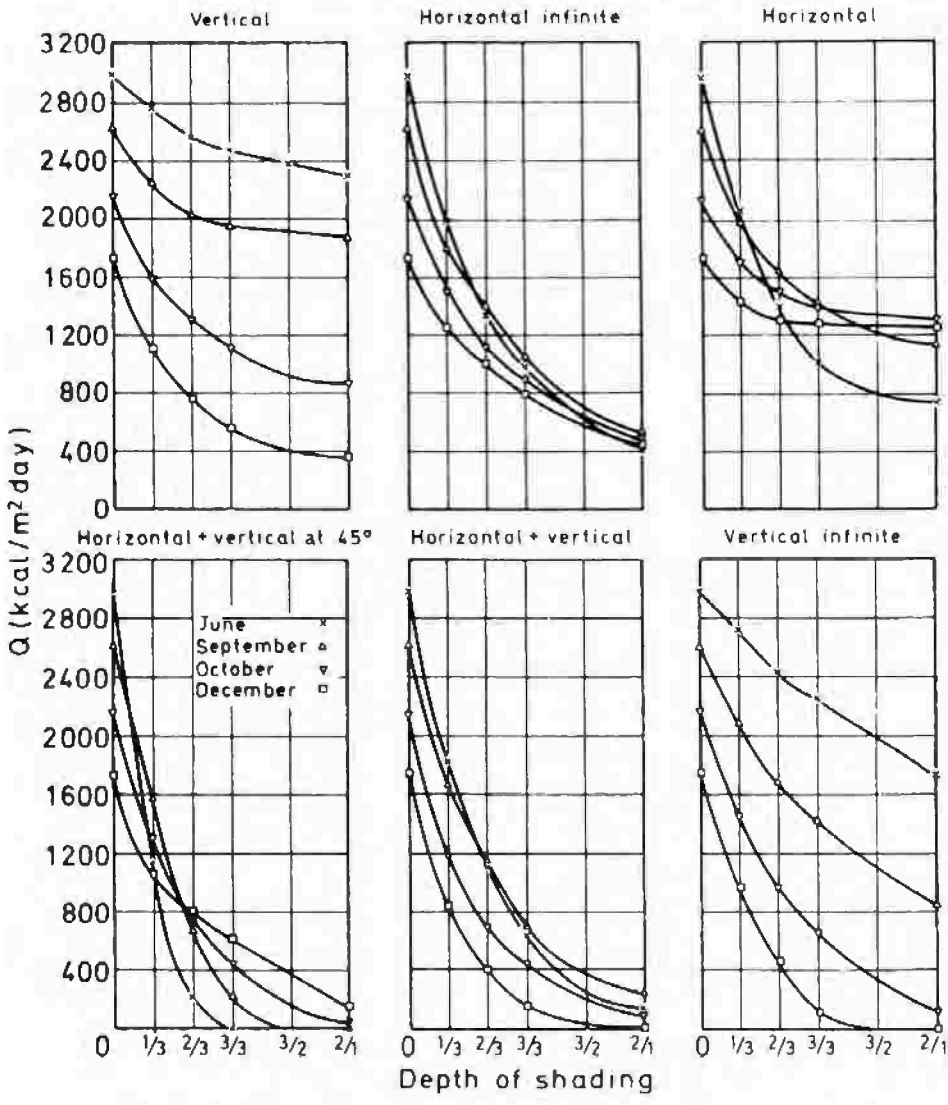
ولقد تم عرض الأداء السنوي الأفضل بإطار الأذرع العمودية المائلة نحو الجنوب. ففي النوافذ الجنوبية، يتم تأمين التظليل الأفضل بتطبيق متدلية أفقية تمتد وراء جانبي النافذة.

كما تعد الأذرع العمودية مفيدة عند تطبيقها على النوافذ الشمالية (في نصف الكرة الشمالي) وبشكل خاص عند خطوط عرض تبلغ ٣٠-٥٠ درجة، وبشكل رئيسي بسبب قدرتها على حجب الشمس المنخفضة من الشمال الغربي في فترة ما بعد الظهيرة. ونظراً لكون شمس الصباح مرغوبة غالباً حتى في فصل الصيف، قد تكون الذراع الواحدة على الجانب الغربي من النافذة أفضل من وجود ذراعين متناسقتين symmetrical.




الشكل ٢-٦ النموذج اليومي للإشعاع الشمسي المباشر الذي يقع على النوافذ المربعة الشرقية والغربية، مع وجود أدوات تظليل عديدة ثابتة، في حزيران (a) وكانون الأول (b).




الشكل ٢-٧ أثر عمق الإسقاط لأدوات التظليل العديدة الثابتة على الإشعاع الإجمالي الساقط في التكييفات الشرقية والغربية.

وتعد الحالة أكثر تعقيداً فيما يتعلق بالفعالية النسبية للأنواع العديدة لأدوات التظليل الثابت في التكييفات الشرقية والغربية. فعلى خلاف الفكرة التي نجدها بشكل شائع في العديد من الإعلانات، تكون المتدليات الأفقية لأي عمق مفترض أكثر فعالية من الأذرع العمودية، ليس فقط بالنسبة للزجاج المواجه للجنوب بل بالنسبة للزجاج المواجه للشرق والغرب أيضاً، وبشكل خاص إذا كانت النوافذ بشكل أشرطة strips أفقية مطولة elongated. ويمكن أن نرى هذه النقطة في الشكلين ٢-٦ و٢-٧.

وبمقارنة أدوات التظليل العمودية والأفقية من مفهوم التخلل الشمسي، تسمح الأدوات الأفقية بدخول إشعاع أقل إلى البناء في حزيران بينما تمكن من تخلل الشمس بشكل أكبر في كانون الأول. كما يتم تأمين التوازن الأفضل بين السقوط الشمسي الأعظمي في الشتاء والأدنى في الصيف في النوافذ الشرقية والغربية عن طريق المتدلية الأفقية، بالإضافة إلى عنصر عمودي مائل بحدود ٤٥ درجة نحو الجنوب.

وتعد النوافذ الأفقية المطولة الأسهل للتظليل بواسطة المتدليات. كما أنها أيضاً أكثر فعالية في تأمين التهوية عن طريق الرياح في الحيز «المشغول» لغرفة من النوافذ العمودية لنفس المساحة المفتوحة، وذلك بارتفاع ٨٠ سم (٢,٦ ft).

ويتضمن الإشعاع الفعلي الذي يسقط على أحد النوافذ أيضاً كل من الإشعاع المنعكس والمنشور، بحيث سيكون المقدار الفعلي للإشعاع الشمسي الذي يصطدم بالنافذة أكبر من القيم التي يظهرها الشكلين. كما لا تكون الإشعاعات المنشورة والمنعكسة غالباً مختلفة جداً في التكييفات المختلفة وهذا العامل سيحد من الاختلافات النسبية بين التكييفات العديدة. ومع ذلك، يوضح الشكل ٢-٦ و٢-٧ الفوارق الهامة في فعالية أنواع التظليل الثابتة المختلفة، وبشكل خاص تفوّق أدوات التظليل الأفقية على الأنواع العمودية حتى فيما يتعلق بالنوافذ الشرقية والغربية.

وتلخص العبارات التالية، التفاعلات بين آثار الموقع واللون الخاص بأدوات التظليل:

١. يعد التظليل الخارجي أكثر فعالية من التظليل الداخلي.

٢. يزداد الفرق بين التظليل الداخلي والخارجي كلما كان لون مادة التظليل أغمق.

٣. بالنسبة للتظليل الخارجي، تزداد الفعالية كلما كان اللون أغمق.

٤. بالنسبة للتظليل الداخلي، تزداد الفعالية كلما كان اللون أفتح.

٥. يمكن للتظليل الخارجي الفعال أن يتخلص من ٩٠٪ من الإشعاع الشمسي الساقط.

٦. مع التظليل غير الفعال، كأدوات التظليل الداخلية الغامقة، قد يصل الاكتساب الشمسي إلى حوالي ٧٠-٨٠٪ من الإشعاع الساقط.

وتظهر الفعالية العالية للتظليل الخارجي الغامق فقط عندما تغلق النوافذ، بحيث يمكن للزجاج اعتراض الإشعاع الموجي الطويل الصادر عن الظلال الغامقة. أما بفتح النوافذ بهدف التهوية المتقاطعة Cross-ventilation، يكون أثر التظليل أصغر بكثير.

## التأثيرات الحرارية لتكييف ولون الجدران:

يختلف مقدار الإشعاع الشمسي الذي يصطدم بسطح مفترض لبناء، جدار، أو سقف بشكل مستمر مع فصول السنة كنتيجة للموضع المتغير للشمس في السماء. كما تعتمد النماذج اليومية والسنوية لحركة الشمس في السماء على خط عرض الموقع الذي نتحدث عنه (بعده، جنوباً أو شمالاً، عن خط الاستواء). فبالنسبة لخط عرض مفترض تكون تلك النماذج متناسقة فيما يتعلق بخط الاستواء. وبالتالي، سيكون للأسطح بتكييفات مختلفة، جدران عمودية بالإضافة إلى الأسطح المائلة أو الأفقية، تعرض مختلف لأشعة الشمس في الصيف والشتاء.

وفي معظم الأقاليم، يتجلى هدف التكييف وفقاً للشمس في زيادة التعرض الشمسي في الشتاء والحد منه في الصيف. وهذا ممكن نظراً للتغييرات الفصلية في ارتفاع الشمس وزاوية السمت الخاصة بها.

كما تتعرض الجدران الشرقية والغربية (بالإضافة إلى السقف) إلى شدة عالية للإشعاع الشمسي في الصيف وإشعاع أقل بكثير في الشتاء. وتتعرض الجدران المواجهة لخط الاستواء (الجدران الجنوبية في نصف الكرة الشمالي) إلى أعلى شدة شمسية في الشتاء وإشعاع شمسي منخفض نسبياً في الصيف.

ويؤدي هذا النموذج للسقوط الشمسي على مختلف الجدران إلى أداء واضح، من منظور التعرض الشمسي، بالنسبة للتكييفات الشمالية ـ الجنوبية بالنسبة للواجهات الرئيسة للبناء، وخاصة فيما يتعلق بالنوافذ. إذ تمكن مثل تلك التكييفات أيضاً من تأمين تظليل سهل ورخيص في الصيف للنوافذ الجنوبية، والجدار الجنوبي بشكل عام، عن طريق المتدليات الأفقية. بحيث تحجب تلك المتدليات بشكل فعال أشعة الشمس في الصيف. أما في الشتاء يمكن أن تخترق أشعة الشمس المنخفضة المتدلية وأن يتم استخدامها للتدفئة.

### تأثير ألوان الجدران والسقف:

تحدد ألوان الغلاف الخارجي للبناء تأثير الإشعاع الشمسي على البناء ـ وهو بالتالي تحديد جزء الطاقة الشمسية الواقعة على البناء والذي يتم امتصاصه فعلياً في غلاف البناء، مؤثراً على اكتسابه الحراري ودرجات الحرارة الداخلية، والجزء الذي ينعكس بعيداً، دون إحداث أي أثر على الأحوال الحرارية لذلك البناء.

### الخاصيات الإشعاعية للأسطح ذات الألوان المختلفة:

تحدد ثلاث خاصيات فيزيائية التبادل الإشعاعي لسطح ما مع بيئته وهي: قابلية الامتصاص، a، وقابلية الانعكاس، r، وقوة الإشعاع، E، المتعلقة بالسطح الذي نتحدث عنه.

كما تحدد قابلية الامتصاص والانعكاس لسطح ما استجابته للإشعاع الشمسي (الموجي الطويل) الذي يقع عليه. إذ يتم امتصاص الإشعاع جزئياً على السطح وعكسه جزئياً. ويحدث الإشعاع الممتص فقط أثره على درجة حرارة السطح الذي نتحدث عنه وبالتالي على الاكتساب الحراري ودرجة الحرارة الداخلية للبناء أيضاً.

وينسب الإشعاع الممتص إلى قابلية الامتصاص (الشمسي) الموجي الطويل أو القصير، a، للسطح، والتي تعتمد عملياً على لونه. بينما ينسب الإشعاع المنعكس إلى قابلية الانعكاس، r، التي يتمتع بها السطح. وترتبط قابلية الانعكاس والامتصاص الشمسي بالصيغة:

$$r = 1-a \text{ or } a = 1-r$$

كما يقوم أي سطح أيضاً بإصدار وامتصاص الطاقة الإشعاعية الموجية الطويلة نسبة لقوة الإشعاع التي يتمتع بها، E. وتستقل هذه الخاصية عن اللون وتكون قوة الإشعاع بالنسبة لجميع الأسطح غير المعدنية تقريباً حوالي ٠.٤، بصرف النظر عن قابليتها للامتصاص الشمسي. وفي أي طول موجة محدد، كالإشعاع الموجي الطويل، تعادل قوة الإشعاع قابلية الامتصاص، بحيث تكون فيما يتعلق بالإشعاع الموجي الطويل:

$$E = a$$

أما بالنسبة للأسطح المعدنية، وخاصة المعادن المطلية، من جهة أخرى، فهي تتمتع بقوة إشعاع منخفضة جداً وبالتالي فهي تصدر وتمتص جزء بسيط جداً من الإشعاع الموجي الطويل.

ويعرض الجدول ٢-٣ قابلية الامتصاص، قابلية الانعكاس، وقوة الإشعاع الموجي الطويل لأسطح مختلفة.

**الجدول ٢-٣ قابلية الامتصاص وقوة الإشعاع التي تمتاز بها الأسطح**

| المادة أو اللون | قابلية الامتصاص | قوة الإشعاع |
|---|---|---|
| ماء الكلس، جديد | ٠,١٥-٠,٢ | ٠,٩ |
| أبيض، "موسخ" | ٠,٣-٠,٣٥ | ٠,٩ |
| طلاء أبيض | ٠,٢-٠,٣ | ٠,٩ |
| رمادي، أخضر، بني، ألوان فاتحة | ٠,٤-٠,٥ | ٠,٩ |
| رمادي، أخضر، بني، ألوان غامقة | ٠,٧-٠,٨ | ٠,٩ |
| طلاء أسود اعتيادي | ٠,٨٥-٠,٩ | ٠,٩ |
| ورق ألمنيوم، مطلي | ٠,٠٥ | ٠,٠٥ |
| ورق ألمنيوم، مؤكسد | ٠,١٥ | ٠,١٢ |
| فولاذ مكلفن، ساطع | ٠,٢٥ | ٠,٢٥ |
| طلاء ألمنيوم | ٠,٥ | ٠,٥ |

كما يختلف مقدار الإشعاع الشمسي الواقع على مختلف الجدران لأحد الأبنية بشكل كبير مع تكييف تلك الجدران. ولذلك، تحدد ألوان الجدران الأثر الكمي لتكييفها عملياً. ففي حالة الجدران البيضاء، يكون أثر التكييف صغيراً جداً حيث ينعكس معظم الإشعاع الساقط بعيداً. وعلى العكس، فعندما تكون ألوان الجدران غامقة، يكون أثر التكييف على درجات الحرارة الداخلية والخارجية هام جداً، كما نناقش في الفصل الثالث بشكل مفصل.

وكنتيجة للأثر الذي يحدثه لون الغلاف على درجات حرارة عناصره المضاءة بالشمس، تؤثر ألوان الجدران والسقف بشكل كبير على شحنة تبريد البناء وعلى الحاجة للعزل الحراري صيفاً في الأقاليم الحارة.

**درجة حرارة الهواء - الشمس** :Sol-air

تعتمد درجة حرارة سطح جدار أو سقف معرض للإشعاع الشمسي وتدفق الحرارة الناتج إلى البناء، ودرجات الحرارة الخارجية وحاجات التبريد على الأثر المجتمع لعوامل عديدة هي: الإشعاع الساقط، قابلية امتصاص السطح، درجة حرارة الهواء المحيط، وسرعة الرياح بجانب السطح الذي نتحدث عنه. وتعبر «درجة حرارة الهواء-الشمس» بشكل كمي عن هذا الأثر المجتمع.

تعد درجة حرارة الهواء-الشمس، بالنسبة لسطح عنصر مفترض للغلاف، بمثابة درجة حرارة الهواء الخارجي النظرية التي تحدث الآثار الحرارية ذاتها التي يسببها المزيج الناشئ للإشعاع الشمسي الساقط وأحوال الهواء المحيط على ذلك العنصر. وهذا يعني أنها قد تنتج نفس درجة حرارة السطح الخارجي، تدفق الحرارة إلى البناء وعبره، ودرجات الحرارة الداخلية.

والصيغة العامة لدرجة حرارة الهواء-الشمس هي:

$$Tsa = Ta + a * I/ho - LWR$$

حيث:

Tsa = درجة حرارة الهواء-الشمس

Ta = درجة حرارة الهواء الخارجي

a = قابلية الامتصاص التي يتمتع بها السطح الخارجي، والتي تعتمد على لونه

I = شدة الإشعاع الشمسي الساقط على السطح

ho = معامل السطح الخارجي الكلي، والذي يعتمد على سرعة الرياح

LWR = هبوط درجة الحرارة بفضل الإشعاع الموجي الطويل إلى السماء (بالنسبة لسقف حوالي (11oF) 6oC في مناخ جاف بسماء صافية، Co4 (Fo7) في مناخ رطب مع سماء صافية. بالنسبة لثلث القيم السابقة. وصفر في الأحوال التي تكون فيها السماء ملبدة بالغيوم).

ويمثل عامل السطح الخارجي، ho، الأثر المجتمع للإشعاع الموجي الطويل وخسارة الحرارة بالحمل من السطح إلى البيئة. كما يعتمد حجم ho على سرعة الرياح قرب السطح. وتقترح قيمة Bth/hft2 F6,0)W/m2Co20 ) مع سرعة رياح مفترضة تبلغ ٥ , ٣ s/m (٧٠٠fpm) من أجل أغراض التصميم. وعلى أي حال، فمع سرعة رياح إقليمية مفترضة، تتأثر السرعة الفعلية قرب الجدار إلى حد ما بتفاصيل تصميم الموقع.

فعلى سبيل المثال، عندما تكون سرعة الرياح «المخصصة» ٥ , ٣ s/m (٧٠٠fpm) قد تكون السرعة الفعلية في منطقة عمرانية كثيفة البناء، أو في فناء، أصغر بكثير (بحدود نصف تلك السرعة، أي اسمياً حوالي ٨ , ١ s/m (٣٦٠fpm)، أو حتى أقل من ذلك. وقد يكون معامل السطح لذلك الجدار، المعرض لسرعة رياح تبلغ ٨ , ١ s/m (٣٦٠fpm) بحدود ١٣ بدلاً من ٢٠. ولذلك سوف يكون للجدار المعرض لسرعة رياح منخفضة، بلون مفترض ومعرض لشدة مفترضة للإشعاع الشمسي، درجات حرارة سطحية أعلى بكثير، مؤدياً إلى اكتساب حراري أعلى من الجدار المواجه لبيئة خارجية.

وكمثال على ذلك، لنفكر في جدار بلون غامق مع قابلية امتصاص a=٠,٧٠، معرض لإشعاع شمسي 1= 600 W/m2 (Bth/hr.sq ft 190) ودرجة حرارة هواء خارجي (F°86) Ta = 30°C ، وسرعة رياح تبلغ ٣,٥ s/m (٧٠٠fpm) في سماء صافية وإقليم جاف (LWR=2°C) ( F° 3.6 )

**Tsa = 30 + 0.7 * 600/20 - 0 = 49°C**

**Tsa = 86 + 0.7 * 190/3.5 – ٣,٦ = F°١٢٠**

وستكون درجة حرارة الهواء–الشمس لجدار غامق اللون، مع سرعة رياح تبلغ m/s1,8:

**Tsa = 30 + 0.7 * 600/13 - 2 = 60°C (140°F)**

أما درجة حرارة الهواء–الشمس لجدار أبيض اللون (a=0.25) مع نفس أحوال الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة المحيط، وسرعة رياح تبلغ ٣,٥ m/s فستكون:

**Tsa = 30 + 0.25 * 600/20 - 2 = 35.5°C (96°F)**

بينما تكون درجة حرارة الهواء–الشمس لنفس الجدار الأبيض مع سرعة رياح تبلغ m/s1,8:

**Tsa = 30 + 0.25 * 600/13 -2 = ٣٩,٥°C(103° F)**

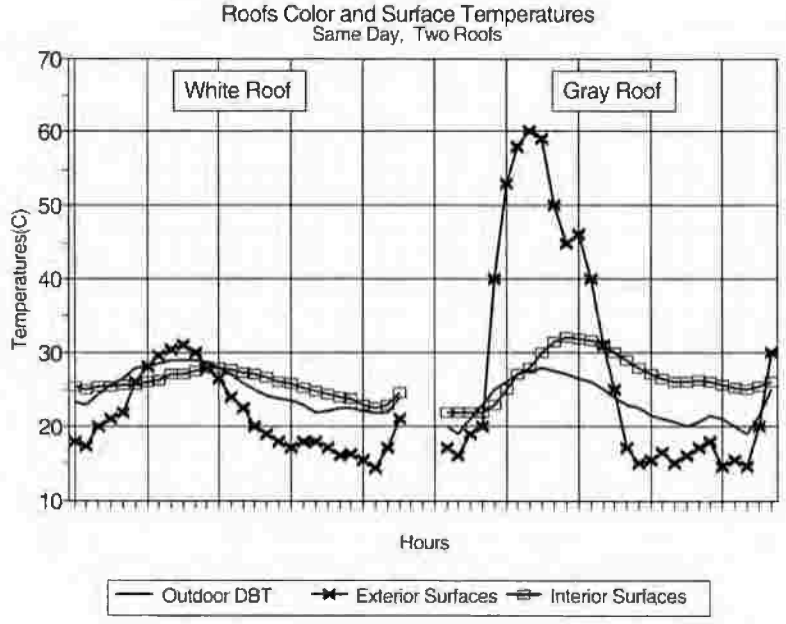
وتظهر الحسابات السابقة مدى تأثير اللون على حساسية الاستجابة الحرارية لبناء ما تجاه الإشعاع الشمسي والتكييف، وخاصة في الأقاليم الحارة صيفاً. كما تظهر بأن سرعة الرياح تؤثر بشكل رئيسي على درجة حرارة الهواء–الشمس (ودرجة حرارة السطح الخارجي) للجدران غامقة اللون (أو الأسقف) بينما يكون أثر سرعة الرياح في حالة الجدران ذات الألوان الفاتحة أبسط بكثير.

## بيانات تجريبية حول أثر الألوان على درجات حرارة السطح الداخلي والخارجي للجدران والأسقف:

يعرض هذا المقطع بعض نتائج الدراسات التجريبية التي أجراها الكاتب حول أثر ألوان الجدران والأسقف، المصنوعة من مواد مختلفة، على درجات حرارة السطح

الداخلي والخارجي. حيث يعتمد الأثر الكمي للون الغلاف على درجة حرارة الهواء الداخلي، والطاقة المطلوبة للبناء، على الخاصيات الحرارية للجدران والسقف، بالإضافة إلى أحوال التهوية. ونناقش هذا الموضوع بتفصيل أكبر في الفصل الثالث. أما في هذا الفصل فسنوضح بإيجاز أثر اللون الخارجي على الأحوال الداخلية.

ويبين الشكل٢-٨ في كل جانب درجات حرارة السطح الداخلي والخارجي لسقف أفقي، مع درجة حرارة الهواء المحيط خلال يومين، والتي تم قياسها في سلسلتين تجريبيتين. حيث كان السقف في هذه الدراسة عبارة عن sandwish مصنوعة من طبقتين من إسمنت الاسبستوس مع عزل ٣سم (١,٢) من البوليستيرين الممدد بينهما. وأثناء سلاسل اليوم الأول المبينة في الشكل، كان لون السقف أبيض، بينما كان رمادياً أثناء سلاسل اليوم التالي. ولقد أجريت هذه الدراسة في منتصف الصيف في حيفا Haifa، إسرائيل.




الشكل ٢-٨: درجات حرارة السطح الداخلي والخارجي لسقف أفقي، باللون الأبيض واللون الرمادي.

يمكن أن نرى من الشكل ٢-٨ بأنه أثناء السلاسل الأولى، مع درجة حرارة عظمى للهواء الخارجي بلغت 29 $C^{o}$ (82.2o $F^{o}$) كانت درجة حرارة السطح العظمى للسقف الأبيض حوالي 31 $C^{o}$ (87,8 $F^{o}$) أي أعلى بدرجتين تقريباً من درجة الحرارة الخارجية. بينما كانت درجة الحرارة الأعلى للسطح الداخلي بحدودC (82,4 $F^{o}$) 48، أي اسمياً أدنى من الحرارة العظمى الخارجية بدرجة واحدة.

وفي اليوم الذي كان فيه لون السقف رمادياً، كانت درجة الحرارة العظمى الخارجية حوالي 27,5 $C^{o}$ (81,5 $F^{o}$) ودرجة الحرارة العظمى للسطح الخارجي للسقف حوالي 60 $C^{o}$ (140 $F^{o}$) أي أعلى بـ ٣٢ درجة $C^{o}$ (٥٧,٦ $F^{o}$) تقريباً من الحرارة الخارجية العظمى. بينما كانت درجة الحرارة العظمى للسطح الداخلي للسقف المعزول بحدود 32 $C^{o}$ (89,6 $F^{o}$) أي أعلى بـ ٤,٥ درجة من الحرارة الخارجية العظمى.

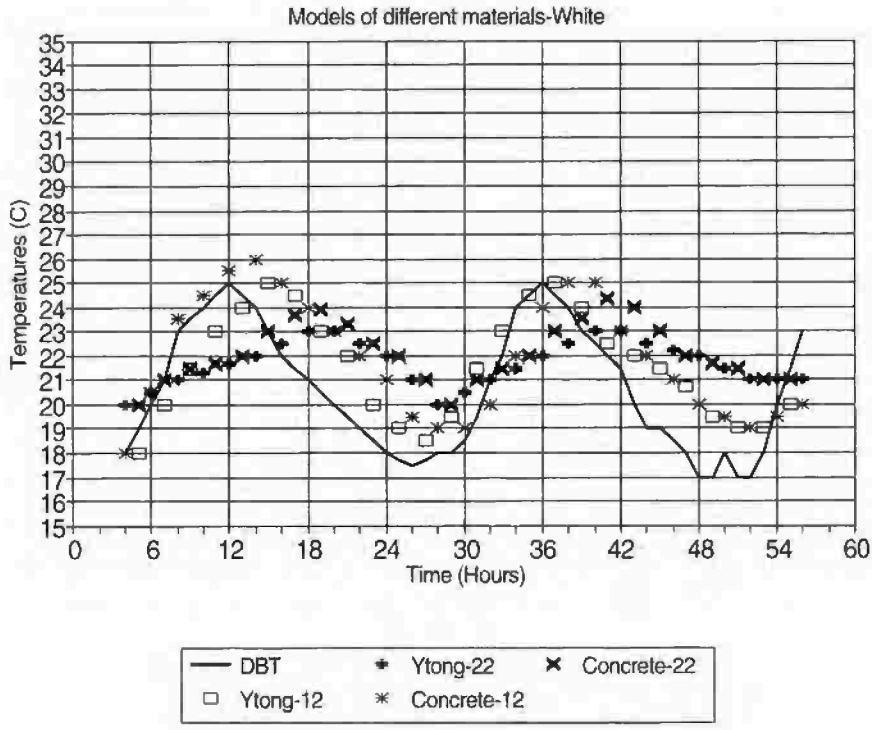
كما يبين الشكلان ٢-٩ و٢-١٠ درجة الحرارة الداخلية للنماذج الحرارية (١×١×٠,٨م) (٢,٦ص) بجدران مبنية بمواد وسماكات مختلفة. حيث بنيت الجدران المبينة من الاسمنت وYtong، بسماكة ١٢ و٢٢ سم (٤,٨ و٨,٨ ). ففي الشكل ٢-٩ كان لون الجدران الخارجي أبيض ورمادياً في الشكل ٢-١٠. وكانت أسقف جميع النماذج متماثلة (صفائح خفيفة الوزن معزولة) ومطلية باللون الأبيض. كما أن القيم المبينة هي عبارة عن معدلات درجات الحرارة التي تم قياسها أثناء السلاسل التجريبية والتي استمرت كل منها أسابيع عدة.

ويمكن أن نرى من الشكل ٢-٩ بأنه مع الجدار الأبيض كانت درجات الحرارة العظمى لجميع النماذج قريبة من درجة الحرارة الخارجية العظمى. بينما كانت النماذج ذات الجدران الثخينة (٢٢سم) (٨,٨) أدنى من الحرارة الخارجية العظمى، والنماذج ذات الجدران الرفيعة (١٢سم) (٤,٨) أعلى بقليل من الحرارة الخارجية العظمى. أما بالنسبة للجدران الرمادية، كما هو مبين في الشكل ٢-١٠، فقد كانت جميع درجات الحرارة الداخلية العظمى أعلى من الخارجية. حيث يظهر أثر سماكة الجدران بشكل رئيسي في تأرجح درجات الحرارة الأصغر: حيث كانت الحرارة

العظمى أقل والدنيا أعلى في نماذج الجدران الثخينة. كما كان أثر سماكة الجدران على الدرجات العظمى أكبر منه على الدرجات الدنيا.

### الخاصيات الضوئية للألوان:

تعد الألوان الخارجية لغلاف البناء التي يقوم باختيارها المهندس المعماري، وهي في معظم الحالات ألوان الجدران، ولكن في حالة السقف المائل، يعد لون السقف أيضاً من بين الميزات الفريدة جداً للبناء. فعلى الرغم من أنه من المنظور الحراري، فإن العامل الثابت الرئيس الأهم هو قابلية الامتصاص الشمسي للسطح، إلا أن القرار الفعلي لمصمم البناء يكون بين الألوان المتعددة.




الشكل ٢-٩ درجات حرارة الهواء الداخلي للنماذج الحرارية بجدران مبنية بمواد وسماكات مختلفة. حيث اللون الخارجي هو الأبيض.

فمن المفهوم الضوئي، تتسم الألوان بخاصيات ثلاث هي: تدرج اللون، إضاءته، وإشباعه (Jones ١٩٦٨)، ولكل منها بعض التأثير على الأثر الحراري لعنصر البناء الذي نتكلم عنه. فالتدرج هو الخاصية التي تعرّف اللون الرئيس: الأحمر، الأصفر، الأزرق-المخضر، والأرجواني، ودرجاته القريبة. ففي نظام مانسيل للألوان Munsell System of Colors (Munssell Color Company Inc,1950) هناك عشرة تدرجات للون. ولكل منها طول موجة مميز، ولذلك يمكن قياسه فيزيائياً.

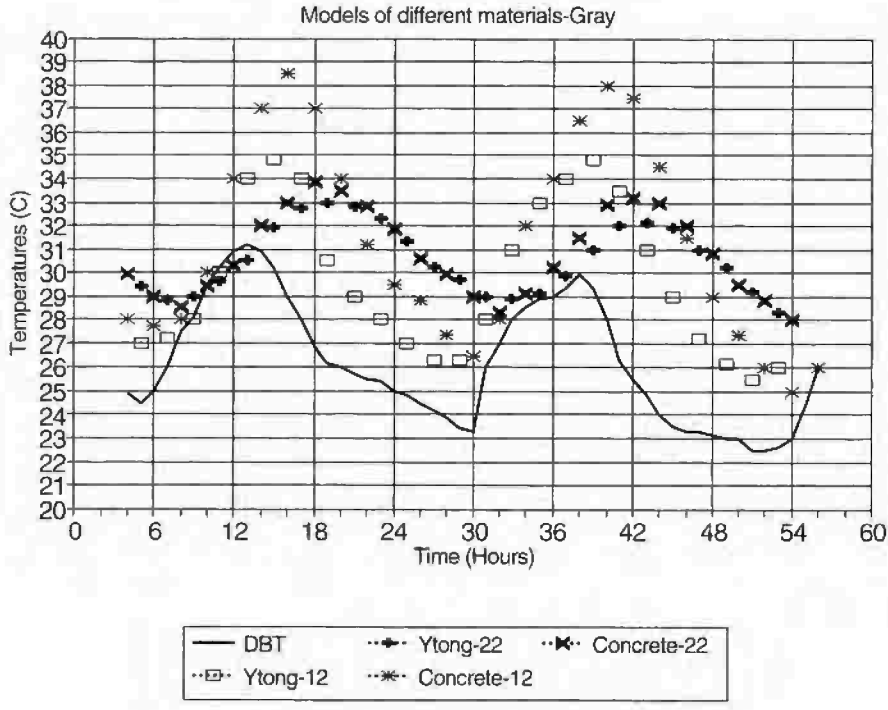
فالإضاءة هي الخاصية التي تتطابق مع الخاصية الفيزيائية لقابلية الانعكاس، ولكنها تقيّم ضوئياً على مقياس يعين موقع اللون بين الأسود والأبيض. وهو من رقم تسعة (قريب من الأسود) إلى واحد (قريب من الأبيض).

والإشباع هي خاصية اللون التي تصور نسبة الرمادية-السطوع brightness-grayness الضوئية. ويعطي Jones ١٩٦٨ مثالاً عن تدرج إشباع اللون الأزرق وهو: الرمادي المزرق (قريب من الرمادي)، الأزرق الرمادي، الأزرق المعتدل، الأزرق القوي، والأزرق الزاهي. كما يذكر أنه في حالة اللون الأحمر، الأصفر، والأرجواني، يمكن للعين ملاحظة درجات مختلفة للإشباع يمكن تمييزها في ألوان كالأزرق والأخضر.

وفي نظام مانسيل يرمز لكل لون بحرف يدل على تدرجه، ورقمين يفصل بينهما خط مائل، يحدد إضاءته وإشباعه، على التوالي. فعلى سبيل المثال، قد يشير R ٢/٤ إلى لون رمادي محمر غامق، وR ٨/٤ إلى أحمر معتدل، و R ٢/٧ إلى رمادي وردي، و YR ٢/٧ إلى وردي مائل إلى البني.

كما قام جونز بقياس درجات حرارة الصفائح المعدنية المطلية بألوان بتدرجات مختلفة، وإضاءة وإشباع مختلف (وكلها بعلامات ٦/٦)، ومعرضة لشمس منتصف النهار. فوجد بأنه بالنسبة للألوان ذات السطوع والإشباع الضوئي ذاته، فإن التدرجات في طول الموجة المتوسط، كالأخضر والأصفر والألوان التي يظهر فيها اللون الأخضر بشكل كاف لتحمل الأخضر في علامة تدرجها، كالأخضر المزرق،

تمتص حرارة أكثر، مما أدى إلى درجات حرارة أعلى ـ حوالي ٧٠°C (١٥٩°F)، مع درجة حرارة للمحيط بلغت ٣٨ °C (١٠٠°F). أما الألوان بأطوال موجة أقصر أو أطول، كالأحمر والأحمر المصفر من جهة، والأزرق والأرجواني من جهة أخرى، فقد كان لها درجات حرارة أدنى بشكل متساوي ـ أي حوالي ٦٠°C (١٤١°F). ولهذه النتيجة أهمية بالنسبة للمهندسين المعماريين في اختيار اللون الخارجي في مناخ حار.




الشكل ٢-١٠ درجات حرارة الهواء الداخلي للنماذج الحرارية بجدران مبنية بمواد وسماكات مختلفة. حيث اللون الخارجي هو الرمادي.

### أثر التكييف على درجات حرارة السطح الخارجي:

يعتمد الأثر الكمي للإشعاع الشمسي أولياً على اللون الخارجي، وإلى حد أقل على السرعة الدينامية قرب السطح. حيث يختلف ارتفاع درجة الحرارة لسطح ما،

والذي يسببه مقدار مفترض من الإشعاع الشمسي الذي يصطدم به، عكسياً مع إضاءة لون السطح وسرعة الرياح قرب ذلك السطح.

كما تعتمد درجات الحرارة الفعلية للسطح الخارجي لجدار بتكييف مفترض على كل من درجة حرارة الهواء المحيط والإشعاع الشمسي الممتص على السطح. فالأول يستقل تقريباً عن التكييف، ولا تكون الاختلافات في سرعة الرياح على الجدران المختلفة والسقف، باستثناء الحالات الخاصة، كبيرة جداً. ولذلك، فبالنسبة لتقديرات درجة حرارة السطح العامة، يكون معدل قيمة (Default) لسرعة الرياح كافياً. بينما يعتمد الثاني أكثر على التكييف، كما ناقشنا سابقاً في هذا الفصل.

وفي غياب الإشعاع الشمسي، في يوم غائم على سبيل المثال، تكون نماذج درجة الحرارة لأسطح الجدار بأي تكييف أقرب أو أبعد عن درجة حرارة النموذج السنوي للهواء الخارجي. أما عند التعرض للإشعاع الشمسي، سواء أكان مباشراً، أم منشوراً، أو منعكساً، ترتفع درجة حرارة الجدار فوق مستوى الهواء المحيط، نسبة إلى الإشعاع الممتص. وعندما يكون لون السطح فاتحاً، وقابلية الامتصاص منخفضة بشكل مطابق، يكون لدرجة حرارة الهواء المحيط أثراً حرارياً أعظم من الإشعاع الساقط، بينما قد يكون تأثير الإشعاع الشمسي مسيطراً في حال كانت الألوان الخارجية غامقة.

كما كان أثر الألوان والتكييفات على درجات حرارة سطح الجدران والأسقف أيضاً جزءاً من الدراسة التجريبية التي أجراها الكاتب في محطة أبحاث البناء لتكنيون في حيفا، إسرائيل (جيفوني ١٩٧٦) (Building Research Station of the Israel، in Haifa،Technion ).

ويبين الشكل ٢-١١ (Givoni ١٩٧٦) درجة حرارة السطح الخارجي للجدران الرمادية (الشكل ٢-١١أ) والجدران المطلية باللون الأبيض (الشكل ٢-١١ب)، على التوالي. حيث تقابل الجدران الاتجاهات الرئيسة الأربعة. وتشير مقارنة لجزئي

الشكل بأن هناك تفاعلاً هاماً بين آثار التكييف وتأثيرات اللون. كما لوحظت فوارق وصلت إلى (٢٣ °C) (٧٣,٤ °F) في درجات حرارة الجدران الرمادية بتكييفات مختلفة، بينما كانت انحرافات الجدران المغطاة بالأبيض كلها أقل من (٣°C) (٥,٤ °F).

وتظهر هذه النتائج بأنه لا جدوى من مناقشة الأثر الحراري لتكييف الجدران إلا بالرجوع إلى اللون الخارجي (قابلية الامتصاص) للجدران التي نتحدث عنها. ومن الواضح أيضاً أنه بالإمكان التحكم بأثر الإشعاع الشمسي من خلال اختيار اللون. ولذلك يمكن تقييم التفاعل بين آثار تكييف الجدران وألوانها عن طريق احتساب درجة حرارة الهواء-الشمس للجدران المواجهة لتكييفات مختلفة.

كما يبين الشكل ٢-١٢ (Givoni ١٩٧٦) درجات حرارة السطح الخارجي، في كانون الثاني وتموز (الشكلين ٢-١٢أ، ٢-١٢ب على التوالي)، والتي تم احتسابها بالنسبة للأحوال المناخية للإقليم الجاف للنجف في إسرائيل Negev. حيث افترضت ثلاثة مستويات لقابلية الامتصاص (٠,٨، ٠,٥، و٠,٢)، وهي تمثل الألوان الغامقة، المتوسطة، واللون الأبيض للجدران.

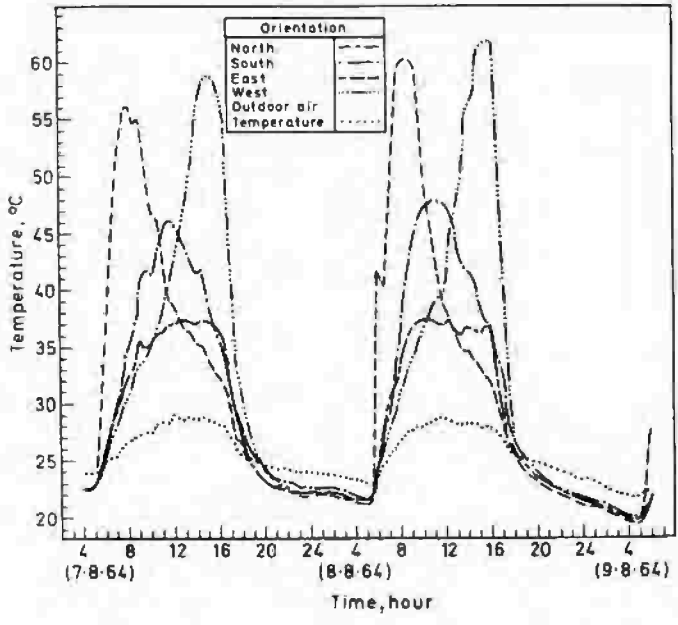
### أثر تكييف الجدار على درجات الحرارة الداخلية:

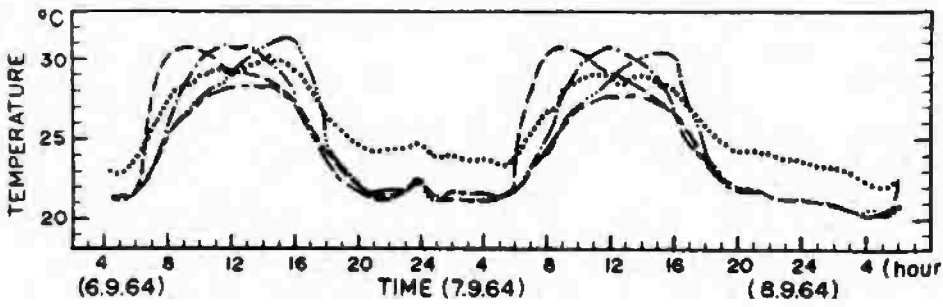
يعتمد حجم الأثر الحراري لتكييف الجدار على درجات الحرارة الداخلية، بالإضافة إلى لون الجدار، على مادته وسماكته، والتي تحدد مقاومته الحرارية والقدرة الحرارية، كما سنناقش في الفصل الثالث.

ولتقديم نقطة بداية، قد يفكر أحدنا في بناء بغرف مقابلة لاتجاهات عديدة، مع جدران خارجية بيضاء، حيث تكون المقاومة الحرارية متوسطة-إلى-عالية، والنوافذ محجوبة بشكل فعال. فنظراً لقابلية الامتصاص المنخفضة للأسطح ستتبع درجات الحرارة الخارجية للجدران المختلفة نموذج الهواء الخارجي عن قرب، مظهرة اختلافاً بسيطاً للأسطح الخارجية مع التكييف. كما يتم تقليص الفوارق التي لاتزال موجودة في درجات الحرارة الخارجية للجدران مع تكييفات مختلفة عن طريق

خاصيات العزل التي تتمتع بها الجدران. وكنتيجة لذلك، ستكون درجات حرارة السطح الداخلي للجدران متقاربة جداً، بصرف النظر عن تكييفاتها المختلفة. وتمنع النوافذ المحجوبة التخلل المباشر للطاقة الشمسية إلى البناء لكنها تسمح بتهوية الغرف عن طريق تدفق الهواء الخارجي، بنفس درجة الحرارة بغض النظر عن تكييف الغرف. وهكذا، ففي هذه الأحوال، ستتبع درجات حرارة الهواء الداخلي لجميع الغرف نموذجاً تحدده درجات حرارة الهواء الخارجي وتكيفه القدرة الحرارية الإنشائية والمقاومة الحرارية لمواد البناء (انظر الفصل الثالث).

ولو كانت الأسطح الخارجية للجدران بلون غامق بدلاً من الأبيض، قد يختلف نموذج درجة الحرارة الخارجية وفقاً للإشعاع الذي يصطدم بالأسطح المختلفة، كما تحدده تكييفاتها. كما يعتمد حجم ارتفاع درجة الحرارة فوق مستوى المحيط أيضاً على اتجاه الريح. فعلى سبيل المثال، في منطقة تكون فيها الرياح السائدة غربية، سيكون الارتفاع فوق المستوى الخارجي لدرجة حرارة سطح جدار مقابل لجهة الشرق في الصباح أعلى منه فيما يتعلق بجدار مقابل لجهة الغرب في فترة ما بعد الظهيرة، على الرغم من أن شدة التعرض للأشعة هي ذاتها تقريباً في كلتا الحالتين.



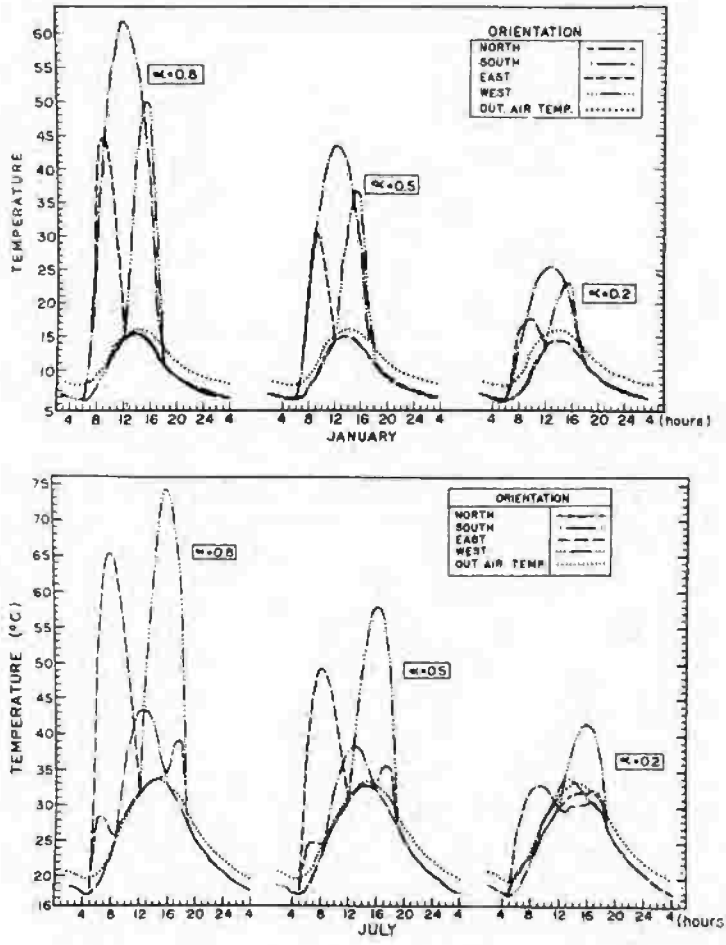



الشكل ٢-١١ درجات حرارة السطح الخارجي لجدران مطلية بالأبيض والرمادي، ومقابلة للاتجاهات الرئيسة الأربعة.

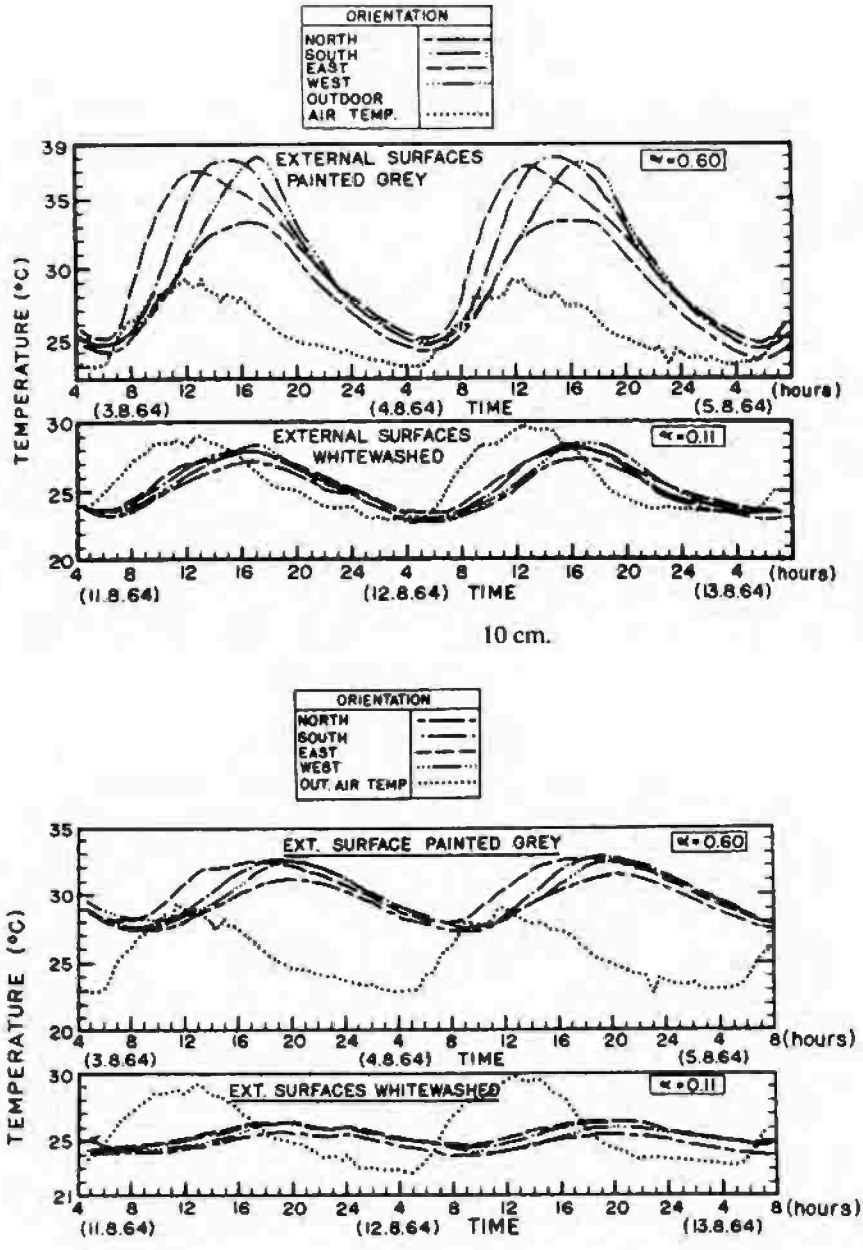
كما يحدث أثر التكييف على درجات الحرارة الخارجية، بالتالي، تأثيراً على تدفق الحرارة من خلال الجدار ودرجات حرارة السطح الداخلي الناتجة. وبشكل كمي، يتعمد نموذج ومقدار ارتفاع درجة الحرارة على القدرة الحرارية والمقاومة الحرارية للجدران. وتتبع درجات الحرارة الداخلية النماذج الخارجية بقرب أكبر عندما يتم تخفيض القدرة الحرارية والمقاومة الحرارية، وتكون أقل تأثراً بالتكييف عندما تكون هذه الخواص، وبخاصة المقاومة الحرارية، عالية.

ولتوضيح اعتماد آثار التكييف، اللون الخارجي، وسماكة الجدار بعضها على بعض، يبين الشكل ٢-١٣ (Givoni ١٩٧٦) نماذج درجة حرارة السطح الداخلي التي تقاس على جدران من الاسمنت خفيف الوزن مقابلة للاتجاهات الرئيسة الأربعة، حيث بنيت الجدران من Ytong بسماكتين - ١٠سم (٤) و٢٠سم (٨) - وتم طلائها خارجياً بالرمادي والأبيض، وقياسها في سلسلتين تجريبيتين، على التوالي.

ويمكن أن نرى في الشكل ٢-١٣ بأنه بلون خارجي أبيض، تقلبت درجات الحرارة الداخلية فوق معدل المستوى الخارجي، ولكن حد التقلب كان أكبر مع الجدران الأقل سماكة. حيث لوحظت اختلافات بسيطة فقط في نموذج درجة الحرارة بين الجدران وفق التكييفات المختلفة. بينما كانت الاختلافات الأكبر بين الجدران الأدفئ (شرق وغرب) والأبرد (شمال) أكبر بالنسبة للجدران الأقل سماكة من الجدران الأكثر سماكة: أي أقل من 1 C° (2 F°) مقارنة بـ 1,5 C° ( 3 F°).




الشكل ٢-١٢. درجات حرارة الجدران الخارجية، في كانون الثاني (a) وتموز (b)، حيث تم احتسابها مع ألوان غامقة، متوسطة، واللون الأبيض.




الشكل ٢-١٣. درجة حرارة السطح الداخلي المقاسة لجدران إسمنتية بيضاء ورمادية، بسماكة ١٠سم و٢٠سم (٤ و٨).

وعندما طلي السطح الخارجي باللون الرمادي على أي حال، كانت الاختلافات في درجات الحرارة بين الجدران بتكييفات وسماكات مختلفة أكبر بكثير. فبالنسبة لجدران بسماكة ١٠سم (٤") كانت الدرجات القصوى نوعاً ما أدنى من معدل درجات الحرارة الخارجية، بينما كان نطاق الدرجات العظمى حوالي 4,5 C° (8 F°) وكان الفرق الأكبر في أية لحظة حوالي7 C° (13 F°)

ولقد عدلت زيادة السماكة إلى ٢٠سم (٨") هذه الاختلافات بشكل فعال. وكان نطاق درجات الحرارة الدنيا حوالي 2,5 C° (4,5 F°) ونطاق القصوى حوالي (2 F° 1,3 C° وكان الفرق الأكبر الملاحظ حوالي 2,7 C° (5 F°) .

## مقارنة آثار اللون والعزل الحراري والكتلة:

على الرغم من أن هناك تشابهاً بين آثر التبييض whitewashing وأثر زيادة المقاومة والقدرة الحرارية، في أن كل منهما يخفف الآثار التفاضلية للتكييف، إلا أن هناك اختلاف رئيسي في الآلية واختلاف كمي عملي في الأثر بين كل من هاتين الطريقتين. إذ يقلل التبييض، عن طريق الحد من قابلية امتصاص أسطح الجدار، كمية الإشعاع الشمسي الفعال في تدفئة البناء، وبذلك يؤدي إلى خفض درجات الحرارة العظمى والدنيا. وعلى عكس ذلك، فإن زيادة القدرة والمقاومة الحرارية للبناء تعدل أثر التدفئة الداخلية لدرجة حرارة السطح الخارجي المرفوعة، وبينما تخفض الدرجة القصوى الداخلية، ترفع الدرجة الدنيا. ولهذا السبب يعد التبييض أكثر أهمية بالنسبة للأبنية المكيفة بغير الهواء في البلدان الحارة. كما تظهر الحاجة لمستويات عالية للعزل في الأقاليم الحارة مبدئياً بالنسبة للبلدان المكيفة بالهواء، ولجميع الأبنية في الأقاليم التي يكون فيها فصل الشتاء بارداً.

## التهوية الطبيعية:

في جميع الأقاليم المناخية في العالم هناك أوقات تكون فيها درجات الحرارة الخارجية جيدة وتكون التهوية الطبيعية الطريقة الأسهل والأكثر فعالية لتأمين

الراحة الداخلية. وحتى في الأقاليم الحارة جداً هناك أشهر وساعات من النهار يمكن أن تؤمن التهوية فيها شعوراً بالراحة وأن تحد من استخدام التبريد الآلي، حتى في المنازل المجهزة بتكييف هوائي. أما في الأقاليم الرطبة ـ الدافئة، تعد التهوية استراتيجية تبريد فعالة على مدار السنة. ولقد ناقشنا دور التهوية في الحفاظ على نوعية هواء داخلي وراحة حرارية كافية في الفصل الأول.

ويمكن لتهوية البناء ليلاً فقط أن تقوم بتبريد الكتلة الداخلية للبناء. وبإغلاق النوافذ أثناء ساعات النهار، تخفض الكتلة المبردة درجة ارتفاع درجة الحرارة الداخلية وبهذا قد تحافظ على درجة حرارة داخلية أدنى من المستوى الخارجي على نحو هام. وتسمى هذه الاستراتيجية التبريد عن طريق التهوية الليلية. كما تعتمد فعالية التهوية الليلية في تخفيض درجة الحرارة النهارية الداخلية على خواص مواد البناء، أحوال تظليل النوافذ، واللون الخارجي لغلاف البناء. ونناقش هذا الموضوع بالتفصيل في الفصل الرابع.

وتحدث التهوية الطبيعية غالباً من خلال النوافذ، بحيث يعني تصميم البناء من أجل التهوية إلى حد كبير اتخاذ القرارات المتعلقة بتفاصيل الموقع، العدد، الحجم، التكييف، وتصميم النوافذ من قبل المصمم.

كما يعتمد احتمال التهوية لأحد الأبنية على سرعة الرياح حول البناء ـ في موقع البناء. وبالتالي تعتمد أحوال الرياح للموقع على عاملين هما: اقتراب الريح العمرانية من الموقع وتفاصيل تصميم المنظر الطبيعي للموقع. ونناقش أثر التصميم العمراني على أحوال الرياح العمرانية بشكل مفصل في الفصل الثامن. كما نناقش أثر المنظر الطبيعي للموقع على أحوال الريح حول البناء في الفصل التاسع.

### متطلبات التهوية:

للتهوية ثلاث وظائف تتطلب مستويات مختلفة لجريان الهواء عبر البناء:

١. الحفاظ على نوعية هواء داخلي مقبولة عن طريق استبدال الهواء الداخلي

الفاسد في عمليات العيش والإقامة occupancy، بهواء خارجي منعش. وتكون وظيفة التهوية هذه ضرورية في جميع المناخات ولكنها هامة بشكل رئيسي في المناخات الباردة، وأيضاً في الأبنية المكيفة بالهواء في جميع أنماط المناخ.

٢. تأمين الراحة في بيئة دافئة عن طريق زيادة خسارة الحرارة بالحمل من الجسم ومنع الشعور بعدم الارتياح بسبب الجلد الرطب بإفراط من خلال سرعة دينامية أعلى على الجسم (تهوية الراحة). ولقد ناقشنا تهوية الراحة بتفصيل أكبر في الفصل الأول.

٣. تبريد الكتلة الإنشائية للبناء أثناء الليل واستخدامها كـ «heat sink» أثناء ساعات النهار التالية بغية الحفاظ على درجة حرارة داخلية أدنى من المستوى الخارجي (التبريد عن طريق التهوية الليلية). ونناقش هذا الموضوع بتفصيل أكبر في الفصل الثالث.

وتعتمد الأهمية النسبية لكل من هذه الوظائف على الأحوال المناخية السائدة في إقليم مفترض أثناء الفصول المختلفة.

### التهوية من أجل الحفاظ على نوعية الهواء:

في الأبنية المشغولة، يتأثر تكوين ونوعية الهواء بعمليات العيش ونشاطات الإقامة. حيث يستهلك الأوكسجين بعملية التنفس. ويحرر ثاني أكسيد الكربون ($C_o2$) وبخار الماء، بالإضافة إلى البكتريا، من الرئتين. ويتم إطلاق المواد العضوية المنتجة للرائحة عن طريق الجسم، استناداً إلى عادات النظافة والغذاء التي يتبعها سكان البناء إلى حد كبير. ويلوث التدخين الهواء من مفهوم الرائحة والصحة. كما تطلق بعض مواد السجاد/البلاط، الأثاث والبناء أيضاً غازات مرفوضة.

وتعتمد درجة التهوية للحفاظ على نوعية الهواء على عدد الأشخاص لكل حجم وحدة unit volume من الحيز الصالح للسكن، وأسلوب عيشهم وحساسيتهم. ويمكن اقتراح درجة تهوية لحوالي ٠,٥ لتغيرات الهواء كل ساعة (ACH) كدرجة تهوية

صحية دنيا في الأبنية السكنية مع كثافة سكن منخفضة للحفاظ على نوعية هواء داخلي كافية في جميع الأحوال المناخية.

### تهوية الراحة (النهارية):

تظهر الحاجة لتهوية الراحة فقط عندما تكون البيئة الداخلية دافئة أو خانقة stuffy للغاية في أحوال الهواء-الساكن. ومن منظور الراحة، فإن العامل الثابت للتهوية هو السرعة الدينامية على الجسم وليس بالضرورة درجة جريان الهواء عبر البناء. كما تكون التهوية الطبيعية مرغوبة عندما تكون درجة حرارة الهواء الخارجي أدنى من الهواء الداخلي أو عندما تستطيع منع ارتفاع درجة الحرارة الداخلية فوق المستوى الخارجي، والذي يسببه تخلل الطاقة الشمسية المباشرة من خلال النوافذ غير المحجوبة أو التدفئة الشمسية غير المباشرة التي تسببها الألوان الغامقة للجدران وسقف البناء. وبشكل خاص تكون التهوية الطبيعية مرغوبة عندما تحد من الشعور بعدم الارتياح بسبب الجلد الرطب، وهي حالة شائعة في الأقاليم الرطبة-الحارة.

ومن جهة أخرى، ففي الأقاليم الجافة-الحارة، يمكن الحفاظ على درجة الحرارة الداخلية أثناء النهار، عن طريق تصميم مناسب للبناء (تظليل فعال، ألوان فاتحة لغلاف البناء، واختيار مناسب للمواد، انظر الفصل الثالث)، بمستويات أدنى بشكل كبير من درجة الحرارة الخارجية العظمى. كما يكون مستوى الرطوبة في هذه الأقاليم منخفضاً أيضاً، بحيث لا يرفعه توليد البخار الداخلي إلى مستويات تؤدي إلى الشعور بعدم الارتياح بسبب التعرق المحسوس. وفي هذه الحالة، عندما يرغب بسرعة دينامية داخلية أعلى، قد يكون من الأفضل تأمينها عن طريق المراوح بدلاً من تهوية البناء بفتح النوافذ، وإدخال الهواء الخارجي الأكثر دفئاً.

ولقد ناقشنا في الفصل الأول حدود الأحوال المناخية التي يمكن أن تطبق بموجبها التهوية.

### القوى الفيزيائية المولدة للتهوية:

تحدث التهوية، وهي اسمياً تدفق الهواء الخارجي خلال البناء، عندما تتوفر الفتحات في نقاط معرضة إلى مستويات مختلفة من ضغط الهواء. ويمكن توليد درجات الضغط gradients هذه (أو رؤوس الضغط heads) عن طريق قوتين:

أ- اختلاف درجة الحرارة بين الداخل والخارج (قوة حرارية أو thermosy-phonic).

ب - جريان الرياح مقابل البناء (قوة ضغط الرياح).

وبغض النظر عن مصدرها، تعد درجة ضغط درجة جريان الهواء المتولدة نسبية إلى الجذر التربيعي مع رأس الضغط.

### التهوية عن طريق القوة الحرارية:

يتم خفض كثافة الهواء والضغط مع الارتفاع. وتعتمد درجة هبوط الضغط هذه على درجة حرارة الهواء: فكلما كانت درجة الحرارة أعلى كلما كان الهبوط أقل في ضغط الهواء مع الارتفاع. وعندما يكون معدل درجة حرارة الهواء الداخلي أعلى من درجة الحرارة في الخارج عند الارتفاع نفسه، تكون درجة الضغط في الداخل، حيث يكون الهواء أقل كثافة، أصغر منها في الخارج. وكنتيجة لذلك، إذا توفرت الفتحات في ارتفاعات مختلفة، يكون ضغط الهواء الداخلي أعلى في الفتحة العلوية وأقل في الفتحة السفلية، مقارنة مع ضغط الهواء الداخلي عند المستويات نفسها. كما تدعى هذه الاختلافات في الضغط رؤوس الضغط. حيث يولد رأس الضغط تيار هواء داخلي في الفتحة السفلية وتيار هواء خارجي في الفتحة العلوية (جريان thermosyphonic).

وإذا كانت درجة الحرارة الداخلية أدنى من الخارجية، ينقلب نموذج الجريان-الـ thermosyphonic: حيث يدخل عندها الهواء الخارجي في الفتحة العلوية ويجري خارجاً من الفتحة السفلية.

كما يمكن التعبير عن درجة الجريان، Q، مباشرة بلغة الاختلافات في الارتفاع ودرجة الحرارة. إذ يتم احتسابها بالصيغة:

$$Q = K^* A * (dt \times h)\ 0{,}5$$

حيث:

Q = درجة جريان الهواء، ft3/(min/ft2) أو m3/(min.m2)

A = المساحة الفعالة الصافية للفتحة، m2 أو ft2.

h = المسافة العمودية بين مراكز الفتحات العلوية والسفلية، m أو ft.

dt = الفرق بين معدل درجات الحرارة الخارجية والداخلية، $F^o$ أو $C^o$.

K = الثابت النسبي (يعتمد على الوحدات المستخدمة، وعلى مقاومة الفتحات لجريان الهواء والعوائق الداخلية. ويعطي ASHRAE قيمة لـ K مع فعالية مفترضة للفتحة ٦٥٪. (وتكون قيمة K بالوحدات المترية ٦,٩٦).

وبافتراض حيز بفتحات علوية وسفلية مساحة كل منها ١م٢(١٠,١ sq ft)، بمسافة عمودية بين مراكزها تبلغ ١م (٣,٣ft) . وهي قيمة عملية في الشقق المخصصة لشخص واحد . ودرجة حرارة داخلية ٢٥°C (٧٧°F) ودرجة حرارة خارجية ٢٠°C (٦٨°F) . وهو اختلاف كبير جداً في درجة الحرارة بالنسبة للأبنية المتمتعة بالتهوية . حيث تكون درجة الجريان thermosyphonic المتوقعة:

$$Q = 9.4^* \ 10.76^* (3.28^* 9)\ 0{,}5 = 550 \text{ ft3/min}$$

وفي النظام المتري، مع نفس التفاصيل (مساحة ١٠,٧٦ ft2، ارتفاع ٣,٢٨ ft، واختلاف ٩°F في درجة الحرارة) يكون جريان الهواء:

$$Q = 6.96^* \ 1^* (1^* 5)\ 0{,}5 = 15.6 \text{m3/min or } 934 \text{ m3/h}$$

وكما سنرى لاحقاً، تكون درجة الجريان هذه صغيرة في أحوال الصيف، مقارنة مع الجريان الذي يمكن زيادته في بناء متمتع بتهوية متقاطعة حتى مع رياح خفيفة

جداً. وبالتالي، يجب أن يطبق التصميم الخاص بالتهوية الصيفية عن طريق قوة الرياح عندما يتعلق الأمر بالتهوية في فصل الصيف.

وفي الوحدات المنزلية المخصصة للعديد من الأشخاص (مثل البيت townhouse المخصص لشخصين أو ثلاثة أو المنزل المخصص لعائلة واحدة)، قد تكون المسافة العمودية الفعالة بين المداخل والمخارج حوالي ٥-٧ أمتار، ١٦,٥-٢٣ ft، أو حتى ٩ أمتار (٣٠ ft) عندما تتوفر الفتحات السقفية. وعندها قد تكون درجة الجريان ضعفين أو ثلاثة أضعاف. وعلى الرغم من كونه جرياناً صغيراً للهواء بلغة تهوية الراحة الصيفية، فقد يكون هاماً جداً بالنسبة للتهوية أثناء ساعات الليل الهادئة.

وتختلف الحالة فيما يتعلق بفصل الشتاء في الأقاليم الباردة، عندما تظهر فروق أعظم بكثير في درجات الحرارة بين الداخل والخارج، وخاصة في الليل، وتكون غالباً من ٢٠-٣٠°K أو حتى أكثر.

### التهوية بفضل قوة الرياح:

عندما تهب الرياح مقابل أحد الأبنية، تنحرف حول الجدران وفوق السقف. كما يكون الهواء مكثفاً أمام الجدران المعاكسة للريح، مما يخلق منطقة ضغط pressure zone ويتمدد الهواء جانب الجدران المتجهة باتجاه الريح وفوق السقف، وينخفض الضغط، وهكذا يتم خلق منطقة الامتصاص suction zone. وبهذه الطريقة تخلق اختلافات في الضغط بين المناطق المختلفة لغلاف البناء.

كما تحدد الاختلافات في الضغط بين أي نقطتين من غلاف البناء احتمال التهوية عندما تتوفر الفتحات في هذه النقاط (قوة محركة)، وإذا تدفق الهواء إلى داخل البناء من الفتحات مع ضغط أعلى على الفتحات المعرضة لمنطقة ذات ضغط أقل.

وتنسب درجة جريان الهواء المعزز بالرياح داخل البناء إلى سرعة الرياح الخارجية أمام نافذة المدخل. كما تمثل النوافذ ذاتها، بالإضافة إلى العوائق داخل الحيز المتمتع

بالتهوية، مقاومةً لجريان الهواء. ويتجلى أثر هذه المقاومة في خفض درجة جريان الهواء. كما يؤخذ عامل قابلية النفاذ بالحسبان بعامل K.

وقد تكون درجة الجريان، Q، في بناء معرض لريح عمودية V s/m، مع مساحة فتحة فعالة Aeff، وعامل قابلية نفاذ كلي K:

$$Q = K * Aeff * V$$

وتعد قيمة المساحة الفعالة Aeff مساحة المداخل عندما تكون للمخارج المساحة نفسها. فإذا لم تكن مساحة المخارج والمداخل متساوية، يجب أن تؤخذ القيمة الأصغر بالحسبان، مع بعض الزيادة بسبب الفتحات الأكبر، تصل إلى قيمة ١,٤ * A، عندما تكون مساحة المخرج خمسة أضعاف مساحة المدخل (أو العكس بالعكس).

وتكون قيمة K بالنسبة لحيز بتهوية متقاطعة مباشرة ودون وجود عوائق داخلية لجريان الهواء حوالي ٠,٧. حيث تؤدي العوائق الداخلية، كالأبواب بين غرفتين متصلتين عند دخول الهواء إلى أحدهما وخروجه عبر الأخرى، إلى خفض قيمة K ودرجة جريان الهواء الناتجة.

وهكذا، فبالنسبة لحيز بمساحة تبلغ ٣٠م٢ (٣٢٣ sq ft) وحجم ٧٥م٣ (٢٦٤٨ ft3)، مع فتحات مداخل ومخارج بمساحة ١,٠م٢ (١٠,٧ sq ft) لكل منها ودون وجود أية عوائق داخلية، مع تعرضه لريح لطيفة جداً بسرعة ٢,٠ s/m (٤٠٠fpm)، قد تكون درجة الجريان Q:

$$Q = 0.7 * 1 * 2 = 1.4 \text{ m3/s or } 5040 \text{ m3/h } (2966 \text{ cfm})$$

وهي أكبر بحوالي ٥,٤ مرة من الجريان الـ thermosyphonic المعزز بالفرق في درجة الحرارة البالغ ٥° K (٩°f) والذي تم احتسابه أعلاه.

فقد يكون ACH (تغييرات الهواء كل ساعة):

$$ACH = 5040/75 = 67 \text{ air changes per hour}$$

## ميزات معمارية تؤثر في التهوية:

إن ميزات التصميم الرئيسة التي تؤثر على أحوال التهوية الداخلية هي:

- نوع البناء
- تكييف البناء، خاصة الفتحات، وفقاً لاتجاه الرياح.
- المساحة الإجمالية للفتحات في أقاليم الامتصاص والضغط لغلاف البناء.
- شكل النوافذ وتفاصيل فتحها.
- العوائق الداخلية لجريان الهواء من فتحات المداخل والمخارج.
- وجود الـ fly screens في الفتحات أو غيابها.
- التفاصيل المخصصة لتوجيه الهواء إلى داخل البناء.

ولقد تم بحث أثر حجم النوافذ وتكييفها وفقاً لاتجاه الرياح بشكل موسع. وسنوجز هذه الدراسات في المقطع التالي.

ويتجلى الأثر الرئيس لتفاصيل التصميم المذكورة أعلاه في الحد الذي تمكن فيه أو تمنع التهوية المتقاطعة للبناء ككل ولغرفه الفردية. وتعرّف التهوية المتقاطعة باعتبارها الحالة التي يستطيع فيها الهواء الداخلي التدفق من الفتحات في جانب واحد من البناء (المدخل) الواقع في مناطق الضغط، عبر البناء، ومن ثم خروجه بواسطة فتحات المخارج الواقعة في أقسام الامتصاص لذلك البناء.

### نوع البناء:

يحدد نوع البناء وخاصة السكني (سواء أكان منزلاً منفصلاً، أو منزلاً في مدينة town house، أو مبنى عالي الارتفاع مكون من عدة شقق مع ممرات single-loaded or double-loaded، أو بناء مربع مع أربع وحدات)، عادة خيارات تأمين التهوية المتقاطعة الفعالة. والهام في الأمر هو إمكانية تأمين الفتحات في كل من

الجانبين المعاكس والموافق لاتجاه الرياح للوحدة، أي في نفس الوحدة السكنية.

وسنناقش هذا الموضوع في الفصل السادس.

## تكييف الأبنية والفتحات وفقاً لاتجاه الرياح:

لتأمين احتمال جيد للتهوية الطبيعية، لا بد لأحد جدران الوحدة السكنية من أن يكون مواجهاً للريح، وليس بالضرورة أن يواجه الريح مباشرة. فحتى مع الرياح المنحرفة عن الجدران بحدود ٦٠ درجة من الخط العمودي normal، من الممكن استخدام النوافذ في الجدار كمداخل بالنسبة للرياح. وتتيح هذه الحقيقة قدراً كبيراً من الحرية للمخططين (أعلى من نطاق ١٢٠ درجة بالنسبة للواجهة المعاكسة للريح) في اختيار التكييف الملائم وفق مفهوم التهوية. وعندها يمكن أن تعمل الفتحات في الجدران الواقعة في «ظل» الريح كمخارج بالنسبة للرياح، متيحة بذلك التهوية المتقاطعة لكامل البناء.

وفي العديد من الأقاليم يتغير اتجاه الرياح بين النهار والليل، وأحياناً بين الفصول المختلفة أيضاً. وفي مثل هذه الحالات، قد يكون التكييف الأفضل بالنسبة لاتجاه الريح أثناء الفترات ذات السرعات الأدنى للريح وهي غالباً أثناء ساعات الليل، وذلك من مفهوم التهوية.

وينبغي أن نأخذ بالحسبان بأنه وفق مفهوم التصميم فإن تأمين حماية داخلية من الريح في الشتاء يعد أسهل من ضمان التهوية المتقاطعة. ولذلك قد تكون اعتبارات التهوية الصيفية غالباً أكثر أهمية.

كما أن هناك اعتقاد شائع يقضي بأنه من أجل الحصول على تهوية جيدة في أبنية مطولة elongated، ينبغي أن تكون الجدران الرئيسة متعامدة مع اتجاه الرياح السائدة، حيث ينتج هذا التكييف الفرق الأعظم في الضغط بين الجدران المعاكسة والموافقة لاتجاه الرياح. وفي الواقع قد يكون مثل هذا التكييف «الأفضل» فقط فيما يتعلق بالبناء المطول المعزول والواقع في حقل مفتوح.

وفي الحقيقة، تختلف الحالة في المناطق العمرانية غالباً. حيث تولد صفوف الأبنية الموجهة بشكل متعامد مع الريح المقاومة الأكبر لجريان الرياح قرب مستوى الأرضية. كما تكون معظم الأبنية (باستثناء البناء الأول في السلسلة) مكشوفة لمناطق امتصاص من جميع الجوانب، مؤدية إلى احتمال تهوية ضعيف جداً.

ومن جهة أخرى، فإن بإمكان مجموعات الأبنية المنحرفة عن الرياح، بزوايا ٣٠ إلى ٦٠ درجة بعيداً عن الخط العمودي، تأمين وصول أفضل للرياح في مستوى الأرضية إلى عمق «الجوار»، وكذلك أحوال تهوية أفضل للغرف الفردية للبناء ككل. فعندما تكون الرياح منحرفة عن البناء، يكون الجدارين المعاكسين لاتجاه الريح في مناطق الضغط والجدارين الموافقين لاتجاه الريح في مناطق الامتصاص، مما يتيح خيارات أكثر لوضع فتحات مداخل.

وعلاوة على ذلك، ففي معظم الحالات يكون للغرف جدار خارجي واحد فقط. فلو وجدت نافذتين في ذلك الجدار، وكانت الريح متعامدة مع الجدار، تتعرض الفتحتان لضغط واحد تقريباً، وهذه التركيبة تؤدي إلى خفض احتمال تهوية الغرفة. وعندما تكون الريح منحرفة عن البناء، يتم خلق درجة ضغط عبر الجدران الموافقة لاتجاه الريح وتكون النافذة المعاكسة لاتجاه الرياح في ضغط أعلى من النافذة الموافقة لاتجاه الرياح. وهكذا يدخل الهواء الغرفة عبر النافذة المعاكسة ويخرج عبر الفتحة الموافقة لاتجاه الريح، مما يخلق تهوية أفضل حتى في الغرف التي لها جدار خارجي واحد فقط (انظر المناقشة حول الـ Wing-walls أدناه).

ويتعلق أثر موقع النافذة (تكييفها وفقاً للرياح)، بشكل أساسي بوضع فتحات المداخل. أما موقع فتحات المخارج فلا يحدث أي تأثير هام على جريان الهواء الداخلي.

### الموقع العمودي للنوافذ:

ربما يحدد ارتفاع فتحة المدخل مستوى جريان الهواء الداخلي الرئيس. ففي مستويات أدنى من عتبة المدخل، هناك عادة انخفاض شديد في سرعة الهواء إلى أن يتم منعه بمزايا خاصة للتصميم.

وفي بعض الحالات، تستدعي المتطلبات الخاصة، والوظيفية، والمعمارية وضع الفتحات قرب السقف، مع عتبات عالية فوق مستوى الإقامة occupancy. وفي هذه الحالة قد تظهر أحوال ضعيفة للتهوية في المنطقة المشغولة من الغرفة إلى أن يتم توجيه الجريان باتجاه الرياح.

ومن الممكن توجيه جريان الهواء بأي اتجاه مرغوب من خلال تفاصيل الفتحة الخاصة بالمدخل. فلو تم تركيب مفصلة لنافذة المدخل في الأعلى وفتحها إلى الأعلى والأسفل، فهي تدفع الجريان باتجاه الرياح عندما يفتح الحزام (Sash) إلى وضع مائل (غير متعامد مع الأفق). وعندها تحدد الزاوية الحقيقية للحزام اتجاه جريان الهواء (في السطح العمودي vertical plane). ولهذه النقطة أهمية خاصة في حالة الأبنية المغطاة بالأرض earth-covered، مع جدران ضيقة bermed فوق عتبة المناور العالية، والتي قد تعاني بطريقة أخرى من أحوال تهوية ضعيفة عندما تظهر الرغبة بتهوية الراحة.

### أشكال النوافذ وطرق الفتح:

تنتج الأشكال المختلفة للنوافذ، عندما تعمل كمداخل، نماذجاً مختلفة لجريان الهواء الداخلي وتتيح خيارات مختلفة للتحكم باتجاه ومستوى الجريان.

حيث تحدد النوافذ الـ double-hung، بارتفاعاتها، المستوى العمودي لجريان الهواء ولكنها لا تحدد اتجاهه ونموذجه. وتكون المساحة القصوى القابلة للفتح أقل من نصف المساحة الإجمالية للأحزمة، وهو عامل يضع حدود درجة التهوية الفعالة.

كما تؤمن النوافذ المنزلقة أفقياً أيضاً أقل من نصف المساحة الحرة للفتح. فهي تتيح تحكماً أقل بنموذج الجريان الداخلي من النوافذ double-hung باعتبار الاختلافات الأفقية في اتجاه الجريان أكبر منها بكثير في السطح العمودي كنتيجة للتغييرات في اتجاه الرياح.

ويمكن أن تعمل النوافذ البابية المفتوحة على الخارج كـ wing-walls، مولدة ضغطاً مرتفعاً عندما يتم فتح الحزام الموافق لاتجاه الرياح، أو تقوم بخلق منطقة امتصاص عندما يتم فتح الحزام المعاكس لاتجاه الرياح. وعلى أية حال، فعندما يفتح كلاهما فقد يؤمن هذان الحزامان جرياناً أصغر للهواء مقارنة مع حالة فتح الحزام الموافق لاتجاه الرياح نتيجة التداخل في الجريان.

كما تمكن النوافذ الأفقية الـ center-pivot-hung من التحكم بالنموذج العمودي لجريان الهواء، سواء أكان موافقاً أو معاكساً لاتجاه الرياح، إذا أمكن فتح الأحزمة الموافقة للرياح في جانب الغرفة، أي أدنى بـ ١٠ درجات من الأفقي. ولقد أظهرت التجارب التي أجراها الكاتب (Givoni ١٩٧٦) بأنه عن طريق تبديل الزاوية التي يفتح بها الحزام من الممكن تعديل وتبديل نماذج جريان الهواء وتوزيع السرعات عبر الحيز الداخلي.

وفي بعض الحالات، تظهر الرغبة بانخفاض شديد في السرعة الدينامية في نفس المستوى (في مستوى المنضدة في المكاتب والقاعات الدراسية على سبيل المثال)، كما يمكن إنجازها أيضاً عن طريق تفصيل نوافذ المدخل.

### أجزاء الحيز الداخلي:

كلما كان على الهواء اجتياز أكثر من غرفة واحدة في طريقه من فتحة المدخل إلى المخرج، فهو يواجه مقاومة إضافية. وتعتمد المقاومة الفعلية على حجم الفتحات الداخلية (مداخل الغرف أو الممرات) والتي يتدفق الهواء خلالها. بالإضافة إلى ذلك، تخلق التغييرات في اتجاه الجريان عبر الطريق، بالإضافة إلى تقلص وتمدد تيار الهواء أثناء مروره عبر الممرات الداخلية، اضطراباً، وتزيد من مقاومة الجريان، وتخفض درجة الجريان. ولذلك، فلو أتاحت الأجزاء الداخلية للبناء تهوية متقاطعة مستقلة للغرف الفردية، يتم إنتاج تهوية كلية أفضل للبناء.

ولابد أن نذكر بأنه لو كانت الفتحة التي تصل غرفتين يتدفق عبرهما الهواء، أصغر من المدخل أو المخرج، فسوف تحدد الفتحة الأصغر درجة الجريان الفعلية. وهكذا، ففي العديد من تصاميم الأبنية التي تضم شققاً عديدة، توضع غرفتي نوم في الجانبين المتعاكسين للبناء مع ممر يفصل بينهما. ويكون طريق التهوية المخطط من المدخل في الغرفة الواقعة في الجانب المعاكس للرياح البناء، عبر مصاريع shut-ters في الأبواب تؤدي إلى الممر من الغرفتين (نظراً لإمكان إغلاق الأبواب من أجل الخصوصية)، إلى الغرفة في الجانب الموافق لاتجاه الريح للبناء، والخروج من فتحة المخرج. وتعد المصاريع الموجودة في الأبواب أو أعلاها عبارة عن عوائق في هذا الطريق. كما تعتبر مقاومة الجريان التي تمثلها هذه المصاريع العامل المحدد لجريان الهواء الكلي.

## دراسات تجريبية حول التهوية:

لقد تم استقصاء أثر ميزات تصميم البناء على أحوال التهوية الداخلية بشكل واسع في العديد من الدراسات التجريبية. ولقد أجريت ثلاثة منها في أنفاق هوائية وهي: جيفوني Givoni ١٩٦٢، سوبين Sobin ١٩٨٣، وارنست Ernest ١٩٩١. وأجريت إحداها في بناء كامل، في مركز فلوريدا للطاقة الشمسية Florida Solar Energy Center. وسنوجزها جميعها الآن.

**ملاحظة أولية حول قابلية مقارنة السرعات الدينامية الداخلية التي تم قياسها في دراسات مختلفة:**

لا يمكن مقارنة النتائج الكمية لدراسات الأنفاق الهوائية المختلفة التي تم خلالها قياس السرعات الدينامية الداخلية والتعبير عنها كنسبة مئوية لسرعات الرياح الخارجية بشكل مباشر. إذ تعتمد أي قيم نسبية للسرعة الدينامية الداخلية على سرعة الرياح الخارجية المرجعية التي عملت كأساس لاحتسابها.

كما تم قياس سرعات الرياح الخارجية المرجعية التي تم استخدامها كأساس لاحتساب السرعة الدينامية الداخلية النسبية في دراسات مختلفة في نقاط مختلفة

في الأنفاق. حيث كانت توزيعات السرعة الدينامية العمودية في الأنفاق مختلفة، وكانت أشكال وأحجام الفتحات مختلفة أيضاً في كل من هذه الأبحاث. وعلاوة على ذلك فقد كان للأنفاق الهوائية ذاتها، والنماذج المستخدمة، تصاميماً مختلفة.

ففي دراسة Ernest ١٩٩١، كانت سرعة الرياح المرجعية ٧٥٪ من سرعة الرياح التي تم قياسها أمام النموذج وفوقه أيضاً. ولقد قام كل من Sobin،Givoni 1962* ١٩٨٣ بقياس الريح المرجعية أمام البناء، في نفس ارتفاع النوافذ فوق الأرضية، حيث تكون السرعة الدينامية أدنى بكثير (حوالي ٦٠٪) مقارنة مع التيار الهوائي غير المعرقل فوق مستوى النموذج. وبالتالي تعد السرعات الدينامية الداخلية النسبية المسجلة في دراسات جيفوني وسوبين أعلى (بحوالي ١,٨) مقارنة مع نتائج دراسة ارنست.

وعلى الرغم من عدم إمكان مقارنة السرعات الدينامية الداخلية العددية للدراسات المختلفة بشكل مباشر، يمكن مقارنتها في حال أخذنا الاختلاف في سرعة الريح المرجعية بالحسبان. ويمكن أن تعمم الآثار الكمية النسبية العامة لميزات التصميم المتعددة بشكل مباشر، وهذا هو الأمر الهام في مفهوم تصميم المباني.

### دراسات حول تأثير حجم النوافذ:

لقد قام الكاتب بدراسة السرعات الدينامية الداخلية في نموذج مربع في نفق هوائي (انظر Givoni ١٩٦٢، ١٩٦٨). حيث تم قياس توزيع السرعات في نقاط مختلفة من النموذج في مجموعات مختلفة لفتحات المداخل والمخارج. وتضمنت هذه المجموعات، من بين أشياء أخرى، نافذة مفردة وحيدة الاتجاه، ونافذتين في الجدران المقابلة والمجاورة، في اتجاهين للريح: متعامد (عمودي) مع نوافذ المدخل، ومنحرف بدرجة ٤٥. كما تم احتساب معدل السرعة الداخلية، وملاحظة السرعة القصوى، التي تم الحصول عليها مع كل مجموعة. وعلى وجه الخصوص، تمت مقارنة أحوال التهوية بشروط مع نفس المساحة الكلية للفتحات، مع أو بدون التهوية المتقاطعة.

ومع وجود الفتحتين، كان موقع المخرج إما في الجدار المقابل للمدخل أو الجدار المجاور. وفي الحالة الثانية، عندما كانت الريح متعامدة مع الجدار، كان المخرج في منطقة الامتصاص للنموذج. ووجد في هذا البحث بأن السرعات الدينامية الداخلية لا تنسب إلى حجم النوافذ: إذ يكون أثر زيادة حجم النوافذ كبيراً عندما تكون النافذة صغيرة ولكنه يصغر مع الحجم المتزايد، مقترحاً بأن تأثير حجم النافذة ينسب إلى الجذر التربيعي لحجم الفتحة بشكل تقريبي.

**بحث ارنست** :Ernest

في بحث ارنست تم اختبار أثر حجم النافذة لعشرة أحجام نسبية (سميت «مسامية الجدران») من ٦-٢٥٪ من مساحات الجدران، بسبعة زوايا للريح، بين متعامدة (صفر درجة) ومتوازية (٩٠ درجة) مع الحائط. كما استشهد ارنست في هذا التقرير أيضاً ببيانات تجريبية لتشاند وكريشاك Chand and Krishak ١٩٦٩. ولقد أظهر تحليل للبيانات التجريبية لارنست بأن أثر زيادة الحجم يعتمد على زاوية سقوط الريح. فمع تقليص الزاوية (من موازية إلى عمودية) يزداد أيضاً تأثير زيادة حجم الفتحة.

ولقد مكن تحليل لبيانات ارنست، أجراه الكاتب، من تطوير صيغة تعبر عن السرعة الدينامية المتوسطة الداخلية، V، كوظيفة لحجم الفتحة (P للمسامية)، وزاوية سقوط للريح، :A

$$V = \{ 2.4 + 0.5 \times (90 - A)^{0.5} \} \times (P)^{0.5}$$

كما يبين الشكل ٢-١٤ العلاقة بين البيانات المجموعة التي تم قياسها لارنست وبيانات تشاند وكريشاك، والقيم التي تم احتسابها بالصيغة المذكورة أعلاه في أحوال مطابقة لأحوال الاختبارات. حيث R2 هي ٠,٩٨ والانحراف القياسي Stan-

dard Deviation ١,١. أما بالنسبة للبيانات في الشكل ١١ (لارنست فقط)، والتي استمدت منها الصيغة، فإن R2 هو ٠,٩٩ و D.S هو ٠,٨٥ (Ernest ١٩٩١).

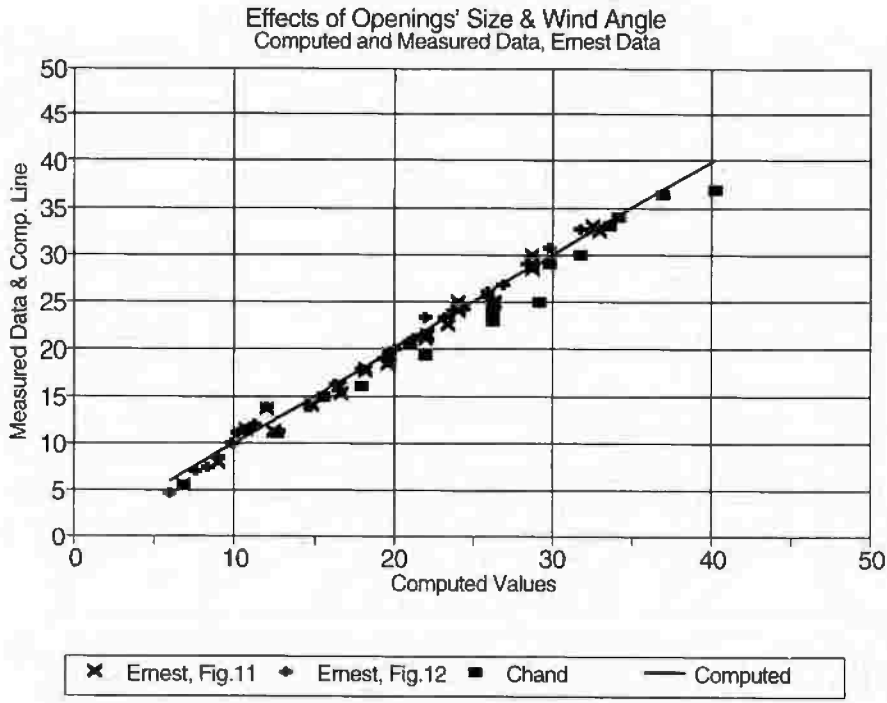
### أثر حجم وشكل النوافذ:

لقد قام سوبين Sobin ١٩٨٣ بقياس أثر زيادة حجم النافذة (نسبة مئوية لمساحة الجدار) لثلاثة أشكال للنوافذ: مربعة، أشرطة أفقية Strips، وأشرطة عمودية. فوجد السرعات المتوسطة الداخلية (معدلات البيانات مع اتجاهات الرياح المنحرفة والعمودية)، والتي تم قياسها في «منطقة الإقامة occupation zone» مع ثلاثة أشكال للنوافذ: مربعة، أشرطة أفقية، وأشرطة عمودية، بينما تم الحفاظ على المدخل والمخرج بنفس الحجم، كوظيفة لحجم النوافذ. بينما كانت الفروق صغيرة نسيباً، حيث كان معدل السرعات الأدنى في مخطط بارتفاع منطقة الإقامة مع النوافذ العمودية، والمعدل الأعلى مع النوافذ الأفقية.

وتم احتساب السرعة الدينامية الداخلية المتوقعة بالصيغة المعروضة أعلاه، حيث تضمنت الصيغة عامل ٨.١، لنأخذ بالحسبان الاختلاف في سرعة الريح المرجعية، كما ناقشنا سابقاً. ومع هذه العلاقة تمثل الصيغة أيضاً بيانات سوبين.

### الحجم النسبي للمداخل والمخارج (عندما لا تتساوى):

بشكل عام، عندما لا تكون مساحة المداخل والمخارج متساوية، فسوف يكون للمساحة الأصغر الدور الرئيس في تحديد أحوال التهوية، بغض النظر عما إذا كانت فتحة المدخل أو المخرج هي الأصغر. ولقد استنتج هذا من بحثين أجريا في نفق هوائي من قبل الكاتب (Givoni ١٩٦٢،١٩٦٨). حيث كان لزيادة تبلغ حوالي ثلاثة أضعاف حجم المدخل أو المخرج بمفردها أثراً صغيراً نسبياً على معدل السرعة الداخلية. وهكذا يحدد حجم الفتحات الأصغر عملياً أحوال التهوية، سواء أكانت مداخل أم مخارج.




الشكل ٢-١٤ العلاقة بين البيانات المقاسة والمحسوبة لـ Ernest و Chand & Krishak.

### السرعة الدينامية المتوسطة والقصوى:

بينما كانت الاختلافات في السرعات الدينامية المتوسطة الداخلية مع اتجاه مفترض للريح، عندما تم الحفاظ على المجموعة نفسها لأحجام النوافذ في الدراسات التجريبية، ولكن مع تغيير المداخل والمخارج، صغيرة تماماً، كان هناك اختلافات هامة جداً في السرعة الداخلية القصوى المقاسة. وبشكل نظامي، فمع مدخل أصغر ومخرج أكبر كانت السرعة الداخلية القصوى أعلى بكثير مقارنة مع الحالات التي عملت فيها الفتحة الأكبر كمدخل، مع مجموعة الأحجام نفسها. ففي العديد من الحالات كانت السرعة الداخلية القصوى أعلى حتى من السرعة الدينامية الخارجية أمام النموذج (انظر الجدول ٢-٤).

فمع أخذ هذه التغييرات بعين الاعتبار، يمكن أن نقترح بأنه قد تكون المداخل الصغيرة مناسبة في الغرف التي يحدد فيها مكان الإقامة Occupancy ويكون قريباً من المدخل ـ على سبيل المثال في غرفة نوم بسرير قريب من النافذة. ففي هذه الحالة، حتى المدخل الأفقي الصغير يستطيع توفير جريان جيد للهواء عبره، لو تم وضعه فوق السرير قليلاً. ولا بد من إمكانية توجيه الهواء بعيداً عن السرير (للأعلى) عندما لايرغب بسرعة عالية، وذلك عن طريق تفاصيل تصميم النافذة. ومن جهة أخرى، ففي غرفة معيشة قد تشغل فيها أية نقطة ـ في مستوى ٠,٥-٠,١م (١,٦٥-٣,٣ ft) فوق الأرضية ـ قد يكون المدخل الكبير أكثر ملائمة حتى لو كان المخرج صغيراً.

**الجدول ٢-٤ أثر التهوية المتقاطعة وأحجام المدخل/المخرج (% من سرعة الريح الخارجية القريبة)**

| | عدد وموقع الفتحات | اتجاه الريح | العرض الكلي للفتحات | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | الجدار ٣/٢ | | الجدار ٣/٣ | |
| | | | AVG. | MAX. | AVG. | MAX. |
| التهوية المتقاطعة | ١، في منطقة الضغط | عمودي | ١٣ | ١٨ | ١٦ | ٢٠ |
| | | مائل | ١٥ | ٣٣ | ٢٣ | ٣٦ |
| لا يوجد | ١، في أنبوب المص | مائل | ١٧ | ٤٤ | ١٧ | ٣٩ |
| لا يوجد | ١، في أنبوب المص | مائل | ٢٢ | ٥٦ | ٢٣ | ٥٠ |
| مع تهوية متقاطعة | ٢ في الجدران المجاورة | عمودي | ٤٥ | ٦٨ | ٥١ | ١٠٣ |
| | | مائل | ٣٧ | ١١٨ | ٤٠ | ١١٠ |
| | ٢ في الجدران المقابلة | عمودي | ٣٥ | ٦٥ | ٣٧ | ١٠٢ |
| | | مائل | ٤٢ | ٨٣ | ٤٢ | ٩٤ |

**الجدول ٢-٥ أثر عرض المدخل والمخرج على السرعات الدينامية الداخلية المتوسطة والقصوى (% من سرعة الرياح القريبة)**

| اتجاه الريح | حجم المخرج | حجم المدخل | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ٣/١ | | ٣/٢ | | ٣/٣ | |
| | | AVG. | MAX. | AVG. | MAX. | AVG. | MAX. |
| عمودية | ٣/١ | ٣٦ | ٦٥ | ٣٤ | ٧٤ | ٣٢ | ٤٩ |
| | ٣/٢ | ٣٩ | ١٣١ | ٣٧ | ٧٩ | ٣٦ | ٧٢ |
| | ٣/٣ | ٤٤ | ١٣٧ | ٣٥ | ٧٢ | ٤٧ | ٨٦ |
| مائلة ٤٥° | ٣/١ | ٤٢ | ٨٣ | ٤٣ | ٩٦ | ٤٢ | ٦٢ |
| | ٣/٢ | ٤٠ | ٩٢ | ٥٧ | ١٣٣ | ٦٢ | ١٣١ |
| | ٣/٣ | ٤٤ | ١٥٢ | ٥٩ | ١٣٧ | ٦٥ | ١١٥ |

الجدول ٢-٥ أثر عرض المدخل والمخرج على السرعات الدينامية الداخلية المتوسطة والقصوى (٪ من سرعة الرياح القريبة)

**التهوية المتقاطعة المعززة في الغرف ذات النتوء الخارجي** projection (wing-walls):

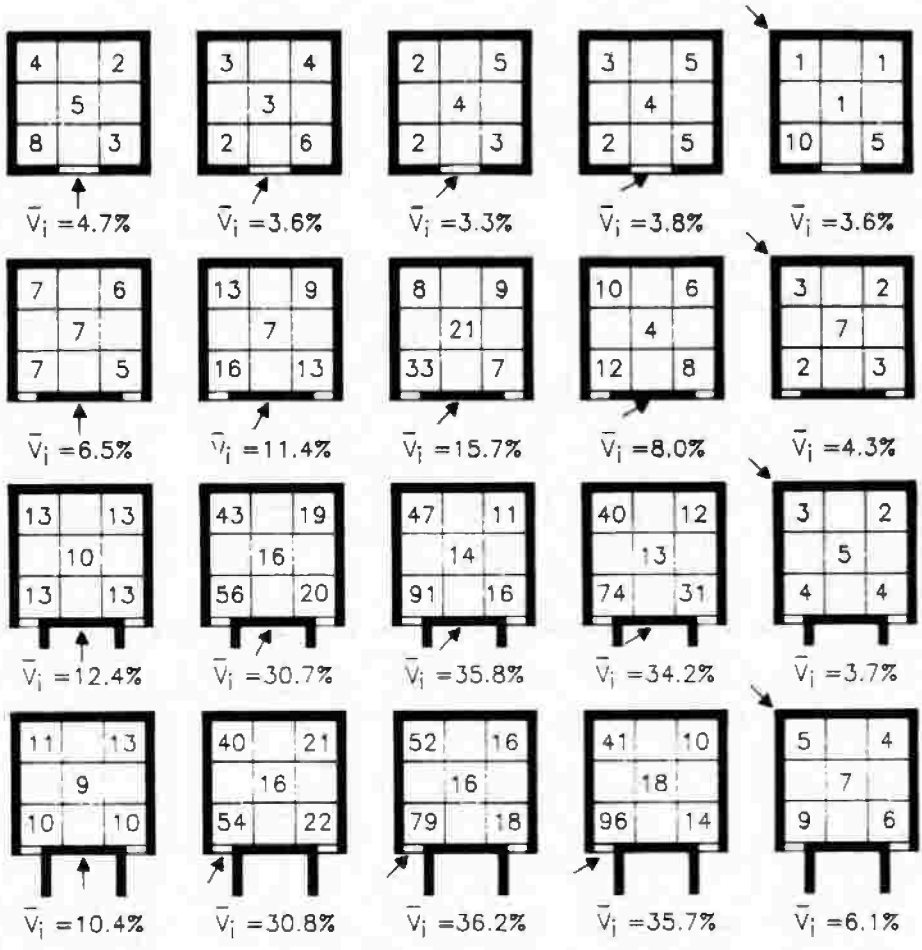
تتمتع الغرفة التي توجد فيها نوافذ في جدار واحد فقط عادة بتهوية قليلة باعتبار درجة الضغط الداخلي ـ الخارجي عبر الفتحة صغيرة جداً. فعندما تكون الرياح منحرفة عن الجدار تجري على طول الجدار وبشك موازي له وتتحقق درجة ضغط صغيرة على الجدار.

ومن الممكن استخدام درجة الضغط هذه بتوفير نافذتين جانبيتين في نفس الجدار. حيث تظهر درجة الضغط عندها بين الفتحتين، ويدخل الهواء من خلال الفتحة المعاكسة لاتجاه الرياح ويخرج من الغرفة من خلال الفتحة الموافقة للريح. ولكن نظراً لصغر درجة الضغط الاعتيادية على الجدار، يكون التحسين في التهوية معتدلاً أيضاً.

وعلى أي حال، فقد أظهرت تجارب أجراها الكاتب (انظر Givoni ١٩٦٨) بأنه عن طريق بعض التعديل على تصميم النافذة، بالإمكان خلق درجات ضغط قوية بين الفتحتين وتحقيق أحوال تهوية قابلة للمقارنة مع الأحوال الموجودة في الأبنية المتمتعة بتهوية متقاطعة بشكل تقليدي. ويتضمن التعديل إضافة نتوء عمودي واحد لكل فتحة، وهو نتوء باتجاه الريح للفتحة المعاكسة للريح، ونتوء بعكس الريح للفتحة الموافقة لاتجاه الريح.

حيث يخلق النتوء المتجه مع الريح للنافذة ضغطاً عالياً أمامها. كما يخلق النتوء المعاكس للريح امتصاصاً قوياً خلفها. وهكذا يتحقق درجة ضغط عالي بين النافذتين، مما يزيد من جريان الهواء في الحيز الذي تقع فيه النافذتين.

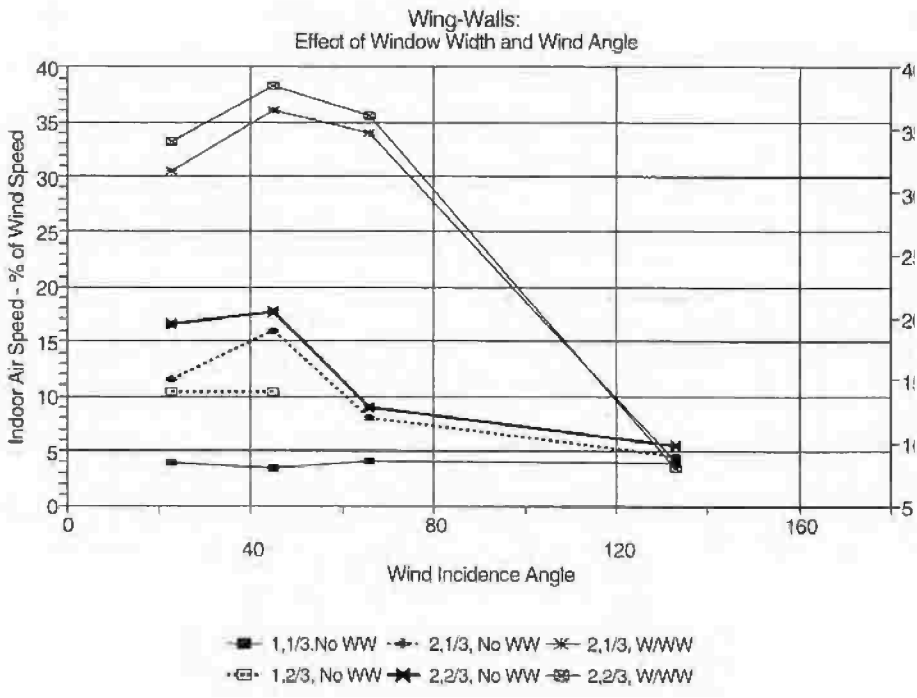
ولقد تم تطوير فكرة استخدام مثل هذه النتوءات لتعزيز التهوية في الأبنية ذات الجدار الخارجي الواحد واختبار أثرها على التهوية أولاً من قبل الكاتب في نفق هوائي (Givoni ١٩٦٢،١٩٦٨،١٩٧٦). وتم قياس توزيع السرعة الدينامية في النماذج ـ مع ارتفاع ٦٥×٦٥سم (٦٢×٦٢ ft) و٥٠سم (٢٠ ft) ـ مع جدار «خارجي» واحد فقط، ونافذة أو نافذتين في ذلك الجدار. ثم عبر عنه كنسبة مئوية لسرعة الرياح أمام النموذج، وبنفس الارتفاع عن الأرضية. حيث كان ارتفاع جميع النوافذ ثلث ارتفاع الغرفة بينما كان العرض متغيراً في التجارب. وأخذت هذه القياسات في نماذج بنافذة واحدة أو اثنتين بنفس المساحة الإجمالية، والتي اختلفت في سلاسل الاختبار المختلفة. كما كان الجدار الخارجي بتكييفات مختلفة وفقاً لاتجاه الرياح.




الشكل ٢-١٥ السرعات الدينامية في تشكيلات مختلفة، مع وجود نتوءات أو دونها، باتجاهات مختلفة للرياح.

فمع مساحة للنافذة تبلغ تسع مساحة الجدار، تمت دراسة أثر عمق النتوءات، وموقعها بالنسبة للنوافذ مع التشكيلات التالية:

- فتحتين جانبيتين اعتياديتين مع نفس المساحة الإجمالية كتحكم Control.
- فتحتين جانبيتين مع نتوءات عمودية بعمق مساوٍ لعرض الفتحة.
- فتحتين جانبيتين مع نتوءات عمودية بعمق يساوي ضعف عرض الفتحة.
- فتحتين جانبيتين داخل شرفة بارزة.

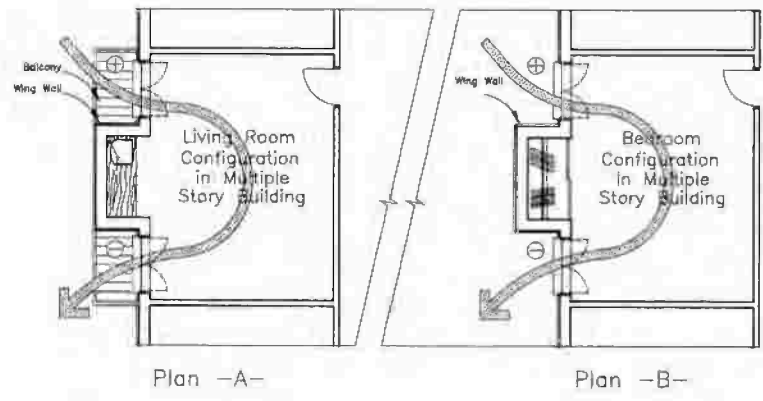



الشكل ٢-١٦ السرعة الدينامية الداخلية المتوسطة في التشكيلات المبينة في الشكل ٢-١٥، كوظيفة لزاوية الريح.

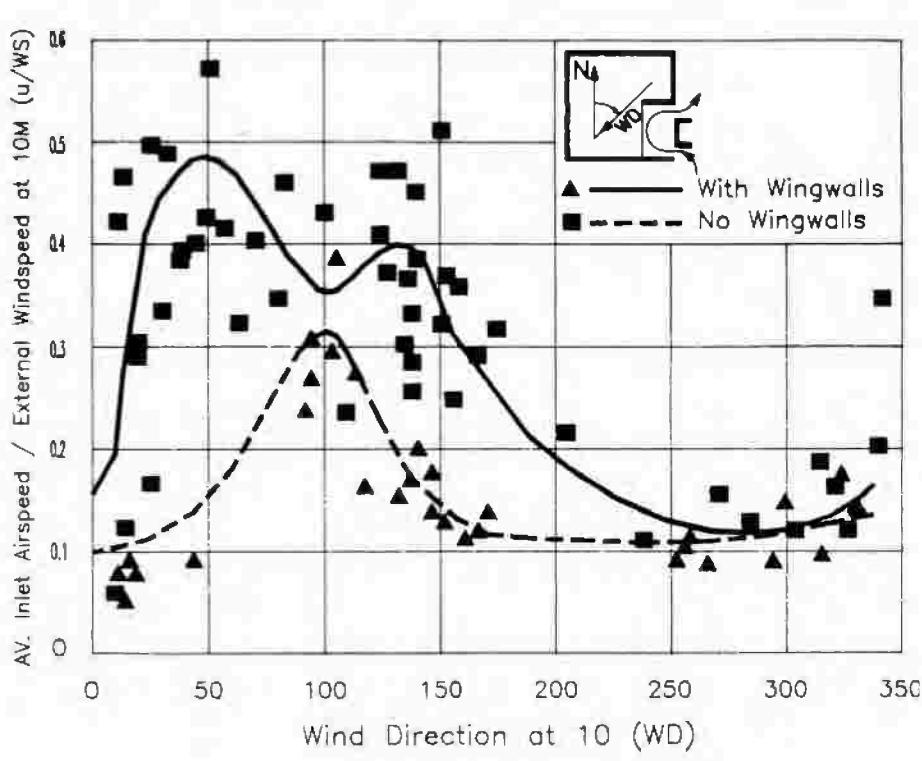
ويعاد وضع توزيع السرعات الدينامية في التشكيلات المختلفة، مع أو بدون وجود النتوءات، بفعل تكييفات مختلفة، في الشكل ٢-١٥ (Givoni ١٩٦٨). كما يبين الشكل ٢-١٦ السرعة الدينامية الداخلية المتوسطة في التشكيلات المختلفة كوظيفة لزاوية سقوط الريح.

كما يمكن خلق اختلافات كبيرة في الضغط ليس فقط عن طريق النتوءات البسيطة بل أيضاً عن طريق عناصر وظيفية معمارية كالكوات alcoves البارزة قليلاً من الغرفة، الشرفات البارزة أو المرتدة، والخ...، كما يوضح الشكل ٢-١٧.

ولقد قام الكاتب بمناقشة تطبيق مثل هذه النتوءات من أجل تعزيز التهوية أثناء زيارته لمركز فلوريدا للطاقة الشمسية (FSEC) مع علماء باحثين في التهوية الطبيعية. ومن ثم، تمت دراسة أداء هذه النتوءات بشكل مكثف من قبل تشاندرا ات ال Chandra et al. (١٩٨٣) في FSEC في مبنى تجريبي كامل. ولقد اخترعوا عبارة «wing-walls» لمثل هذه النتوءات وقاموا بنشر الفكرة في منشورات عديدة (مثل Chandra et al. ١٩٨٣). ويعاد وضع نتائج اختباراتهم في المبنى الكامل في الشكل ٢-١٨.




الشكل ٢-١٧ العناصر الوظيفية المعمارية كالكوات البارزة قليلاً من الغرفة، والشرفات البارزة أو المرتدة.




الشكل ٢-١٨ أثر الـ wing-walls الذي تم قياسه في مبنى كامل من قبل Chan-dra et al.

# ٣

# خاصيات المواد والأداء الحراري للأبنية

**مقدمة:**

تحدد المواد التي يبنى منها البناء (وبشكل خاص غلافه) العلاقة بين درجة الحرارة الخارجية وأحوال الإشعاع الشمسي، ودرجات الحرارة الداخلية في الأبنية المكيفة بغير الهواء. ففي حالة الأبنية المتمتعة بالتدفئة أو التبريد بواسطة نظام آلي، تحدد مواد الغلاف الطاقة التي يستهلكها النظام للحفاظ على درجات حرارة داخلية ضمن حدود الراحة، كما يحددها جهاز الترموستات.

وتتبع درجة الحرارة الخارجية والإشعاع الشمسي نماذج نهارية دورية. إذ تكون درجة الحرارة الخارجية في أدناها قرب شروق الشمس، وترتفع وتصل إلى أقصاها في ساعة مبكرة من فترة ما بعد الظهيرة، ومن ثم تنخفض. ويتم تمييزها كمياً بمعدل (أي المجال بين الدنيا والقصوى) وتأرجح مفترض حول ذلك المعدل. كما تسبب الطاقة الشمسية، التي تسقط ويتم امتصاصها في أسطح الجدران والسقف أثناء ساعات النهار، ارتفاعاً في معدل درجة الحرارة الداخلية فوق المعدل الخارجي.

وبينما تعد كل من نماذج درجة الحرارة الخارجية والإشعاع الشمسي عوامل مناخية climatological لاتخضع لسيطرة المهندس المعماري، فهناك اختلاف رئيسي بينها من منظور القدرة على السيطرة على تأثيرها على درجة الحرارة الداخلية واستهلاك الطاقة من قبل أنظمة التحكم الحراري الآلية. فباستخدام تفاصيل التصميم، يكون التحكم بأثر الإشعاع الشمسي أسهل بكثير من التحكم بأثر أحوال درجة الحرارة الخارجية.

كما تتبع درجات الحرارة الداخلية في الأبنية التي لايتحكم بها نظام آلي نموذج الهواء الخارجي بدورة مكيفة: أي معدل يكون عادة فوق المعدل الخارجي، مع ارتفاع يعتمد على التحكم الشمسي للبناء (ارتفاع درجة حرارة الهواء الشمس sol-air). وتأرجح يومي يكون عادة أصغر ولكنه قد يكون أعلى أيضاً من التأرجح الخارجي. وتأخير في زمن الحرارة الداخلية القصوى بعد الساعة التي تصل فيها درجة الحرارة الخارجية إلى أقصاها (تأخير زمني).

وتحكم الخاصيات التي تتمتع بها مواد البناء العلاقة بين معدل درجة الحرارة الداخلية وتأرجحها ونموذج درجة حرارة الهواء الخارجي الموافق. كما تحكم ثلاثة خاصيات لغلاف البناء هذه العلاقة وهي: التوصيل الحراري، أو مقاومتها لتدفق الحرارة عبر الغلاف، تغيير درجة حرارة كتلة البناء مع امتصاص وإطلاق القدرة الحرارية الطاقية، وامتصاص (أو انعكاس) الطاقة الشمسية التي تصطدم بالغلاف.

ويتم تحديد التوصيل والمقاومة بخاصيات رئيسية أكثر وهي: قابلية التوصيل الحراري، الكثافة والحرارة المحددة للمواد، وسماكة عناصر البناء المصنوعة منها. كما تحدد الاستجابة تجاه الإشعاع الشمسي الساقط بخاصية رئيسية للسطح وهي: قابلية الامتصاص، والتي تعتمد بشكل رئيسي على اللون الخارجي للبناء وأحوال التظليل.

## تبادل الحرارة بين البناء وبيئته:

ينتج الأثر المكيف لمواد الغلاف على درجة الحرارة الداخلية واستهلاك الطاقة من أجل التدفئة والتبريد عن أثرها على تبادل الحرارة بين البناء وبيئته. ويحدث تبادل الحرارة هذا (كل من الخسارة والاكتساب) من خلال الغلاف عن طريق أنماط فيزيائية مختلفة (نناقشها أدناه). وتعتمد درجة التبادل على الخاصيات الحرارية لمواد البناء، والنقل الحراري بشكل رئيسي. كما تطبق إجراءات قياسية في احتساب خسارة الحرارة مختلفة عن احتساب اكتساب الحرارة لبناء ما بسبب التأثيرات المختلفة للتكييف، تظليل النوافذ، ولون الأسطح العديدة، على حسابات اكتساب الحرارة وخسارة الحرارة.

ففي احتساب خسارة الحرارة بهدف تقدير حجم معدات التدفئة، تؤخذ الأحوال الشديدة بالحسبان، دون أي «تلطيف» بواسطة اكتساب الحرارة الشمسية اسمياً. والسبب هو أن «الحالة الأسوأ» تحدث ليلاً من منظور خسارة الحرارة. ولذلك لايؤثر تكييف عناصر الفلاغ المختلفة، وألوانها، على الإجراءات القياسية لحساب خسارة الحرارة. وهكذا يمكن تحديد خسارة الحرارة من أحد الأبنية، وحسابها القياسي، دون اختلاف رئيسي بين التكييفات المختلفة، ودون اختلاف رئيسي بين الأجزاء الغير شفافة (الجدران والسقف) والأجزاء الشفافة (النوافذ) للغلاف (على الرغم من أخذ خاصياتها الحرارية المختلفة ـ أي قيم U ـ بالحسبان).

ويفترض احتساب خسارة الحرارة القياسي أيضاً أحوالاً «مستقرة» ـ أي درجة حرارة داخلية ثابتة بشكل تقريبي (يتم الحفاظ عليها بواسطة نظام تدفئة مفترض) واختلاف كبير بين معدل درجات الحرارة الداخلية والخارجية. ففي هذه الحالة يمكن تجاهل أثر الكتلة الحرارية (القدرة الحرارية) للبناء دون وجود خطأ كبير في تقدير خسارة الحرارة، وخاصة في حساب خسارة الحرارة الأعلى، والحجم الموافق لمصنع التدفئة. وسنناقش لاحقاً إجراء احتساب خسارة الحرارة.

ومن جهة أخرى، يتضمن اكتساب الحرارة لأحد الأبنية عاملين رئيسيين لايتضمنهما الإجراء القياسي لاحتساب خسارة الحرارة، وهو اسمياً اكتساب الحرارة الشمسية وتأثير الكتلة الحرارية لبناء ما على أدائه الحراري. ويتعلق الأمر الهام في اكتساب الحرارة بالحالة الأسوأ، وهي ساعات النهار في فصل الصيف. فقد تشكل الطاقة الشمسية التي يتم امتصاصها في الأسطح الخارجية للأجزاء الغير شفافة للغلاف والتي تتخلل من خلال النوافذ، جزءاً رئيسياً في اكتساب الحرارة الكلي ولايمكن تجاهلها حتى في الإجراءات القياسية المبسطة، كما في حالة احتساب الحرارة. كما يتأثر اكتساب الحرارة بشكل كبير بتكييف النوافذ وأحوال تظليلها، بالإضافة إلى تأثره بألوان الجدران والسقف.

وعلاوة على ذلك، يكون معدل درجة الحرارة الخارجية في الصيف في معظم الأقاليم أقرب إلى منطقة الراحة البشرية مما يكون في الشتاء. وتكون الحرارة القصوى الخارجية اليومية غالباً أعلى من نطاق الراحة بينما تكون الحرارة الدنيا أدنى. وفي هذه الحالة، تحدث القدرة الحرارية للبناء أثراً هاماً على درجة الحرارة الداخلية وحاجات التبريد. ولذلك لابد من أخذ تأثير كتلة البناء بالحسبان عند احتساب النموذج اليومي لاكتساب الحرارة وحاجات التبريد.

## أنماط انتقال الحرارة في الأبنية:

يحدث تدفق الحرارة بين أحد الأبنية وبيئته في أنماط فيزيائية عديدة ـ وهي التوصيل، الحمل، والإشعاع ـ وعبر طرق وعناصر مختلفة لغلاف البناء ـ وهي السقف، العناصر الغير شفافة للجدران، والنوافذ، بالإضافة إلى حدوثه عن طريق تسلل الهواء.

فعندما تسبب خسارة الحرارة أو اكتسابها تغيراً في درجة الحرارة، يشار إليه كحرارة محسوسة. أما عندما يرافقها تغير في حالة الماء من سائل إلى بخار (تبخر)، أو العكس (تكاثف)، يسمى عندئذ الحرارة الكامنة. ففي حالات معينة، يجب أيضاً أخذ تحول الحرارة الكامنة بشكل تبريد تبخري و/أو تكاثف (إصدار حرارة) في الأبنية بعين الاعتبار. حيث تحدث خسارة الحرارة بالتبخر عندما تكون جدران البناء وسقفه رطبة، كما يحدث بعد هطول المطر. كما يحدث التكاثف أيضاً على الأسطح الداخلية، أو في مواد البناء، وبشكل رئيسي عندما يرتفع مستوى الرطوبة الداخلية فوق نقطة الندى للأسطح الداخلية. وسنناقش في الفصل الخامس انتقال الحرارة الكامنة بالتفصيل، والذي يحظى بأهمية رئيسية في حسابات شحنة التبريد في الأبنية المكيفة بالهواء.

### التوصيل:

التوصيل هو عملية انتقال الحرارة من الجزيئات الأدفئ إلى الأبرد في مادة صلبة. حيث تهتز جزيئات أي مادة، ويصبح هذا الاهتزاز أشد بارتفاع درجة حرارة

تلك المادة. وينتج تدفق الحرارة بالتوصيل عن انتقال الطاقة من الجزيئات الأدفئ والتي تهتز بشكل أسرع إلى الجزيئات الأبرد. وبهذه الطريقة يتحول انتقال الطاقة الحركية للاهتزاز إلى انتقال للحرارة. وهكذا فالتوصيل الحراري في الأبنية هو عملية انتقال الحرارة خلال المواد الصلبة (جدار أو سقف) من الجانب الأحر إلى الجانب الأبرد لعنصر البناء. وتعتمد درجة الانتقال على قابلية التوصيل التي تتمتع بها المادة وسماكة عنصر الغلاف الذي نتحدث عنه. ونناقش تدفق الحرارة بالتوصيل بالتفصيل لاحقاً في هذا الفصل.

**الحمل:**

الحمل هو انتقال الحرارة عن طريق حركة السائل (الهواء في معظم الحالات) ويحدث تبادل الحرارة بالحمل في حالات عديدة، عندما تنتقل الحرارة من سطح صلب إلى الهواء المجاور، أو العكس بالعكس، أو عند انتقال الحرارة بين سطحين بدرجات حرارة مختلفة بواسطة جريان الهواء. ويمكن أن يكون للحمل شكلين، ينتجان بفعل قوتين: عن طريق اختلافات درجة الحرارة (الحمل الطبيعي، أو الـ thermosyphonic)، وحركة الهواء الناتجة عن الرياح أو المراوح.

كما يحدث الحمل الطبيعي الـ thermosyphonic عندما يدفأ الهواء عن طريق احتكاكه بسطح أحر، أي على سبيل المثال، عندما يتمدد، ويصبح أخف، ويرتفع.؟ ويتدفق عندئذ باتجاه سطح أبرد، ويبرد عن طريق نقل الحرارة إلى ذلك السطح، ويصبح أكثر كثافة، وأخيراً ينخفض. وبهذه الطريقة تنتقل الحرارة عن طريق جريان الهواء من السطح الأحر إلى السطح الأبرد. كما لاتعتمد درجة انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي على اختلاف درجة الحرارة فقط بل تعتمد أيضاً على موقع السطح الحار. حيث ترتفع إلى أعلى حد عندما تكون الأرضية هي السطح الأكثر دفئاً وتنخفض إلى أدنى حد عندما يكون السقف هو السطح الأكثر دفئاً.

ويميل الحمل الطبيعي إلى خلق مطابقة لدرجة الحرارة stratification في الحيز الذي يحدث فيه. حيث يتراكم الهواء الأدفئ قرب السقف والهواء الأبرد قرب الأرضية، مشكلاً طبقات لدرجات الحرارة المرتفعة عندما تأخذ إحداهما بالارتفاع. ويزداد نموذج التصنيف هذا إلى أكبر حد عندما يكون السقف هو السطح الأكثر دفئاً في إحدى الغرف، وهي الحالة الشائعة غالباً في ساعات النهار صيفاً.

ويتولد انتقال الحرارة بالحمل المتسبب بشكل شائع نتيجة جريان الرياح حول البناء (على الأسطح الخارجية لغلاف البناء) أو جريان الرياح خلال الحيز الداخلي (في حالة التهوية المتقاطعة الطبيعية). وتعتمد درجة الانتقال بشكل رئيسي على السرعة الدينامية قرب السطح الذي نتحدث عنه.

ويمكن حدوث انتقال الحرارة بالحمل في الأبنية في حالات عديدة:

أ- تتبادل الأسطح الداخلية للجدران الحرارة عن طريق الحمل مع الهواء الداخلي. ويفترض عادة أن يكون الهواء الداخلي «ساكناً» تقريبياً ويفترض معامل الحمل عادة قيمة ثابتة منخفضة ولابد أن ندرك أنه عندما تتم تهوية البناء، لايكون الهواء الداخلي ساكناً. وعلى أي حال، لاتتوفر أية صيغة مقبولة في الوقت الحاضر لتحديد قيمته في هذه الحالة، ولذلك تطبق القيمة بالنسبة للهواء الساكن عادة على الأسطح الداخلية حتى عندما تتم تهوية البناء.

ب- كما يتبادل السقف الحرارة مع الخواء الداخلي أدناه عن طريق الحمل، بالإضافة إلى تبادلها مع الحيز العلوي (عندما يحتوي السقف على علية). وتختلف قيمة معامل الحمل في الشتاء ـ حيث يكون البناء المدفأ أدفئ من الهواء الخارجي وتتدفق الحرارة إلى أعلى. أما في الصيف، يكون السقف المعرض للشمس أحر من الهواء الداخلي، وتتدفق الحرارة إلى أسفل. ويكون تدفق الحرارة بالحمل إلى الأعلى أكبر منه إلى الأسفل.

ت- تتبادل الأسطح الخارجية المعرضة للريح الحرارة مع الهواء المحيط عن

طريق الحمل. وتؤدي سرعة الريح إلى زيادة معامل الحمل بشكل كبير. وعلى الرغم من تغير سرعة الريح بشكل مستمر واختلافها على الجدران المتعددة للبناء نفسه، تفترض سرعة ثابتة للريح في الحسابات القياسية، مؤدية إلى معامل حمل خارجي ثابت مفترض.

ث- وفي الجدران التي تتوفر فيها فسحات داخلية هوائية مطوقة، تتدفق الحرارة عن طريق الحمل من الجانب الأدفئ إلى الجانب الأبرد للفسحة الهوائية. ويسخن الهواء قرب السطح الأدفئ للحيز، ويرتفع، ويتدفق باتجاه السطح الأبرد حيث ينخفض، حاملاً الحرارة من الجانب الأدفئ إلى الجانب الأبرد للفسحة الهوائية. ويتم تدفق الحرارة الداخلي بالحمل فقط عن طريق الاختلافات في درجة الحرارة (الحمل الطبيعي). وفي حالة الفسحة الهوائية في بنية السقف، يتم تعزيز الحمل في الشتاء، حيث يكون الحيز الداخلي أدفئ من الخارج، ويحد منه في الصيف، عندما يكون السقف أدفئ من الحيز الداخلي.

ج- ويحدث انتقال الحرارة بالحمل أيضاً عندما تتم تهوية البناء، حيث يتدفق الهواء الخارجي خلال الحيز الداخلي. فإذا اختلفت درجة حرارة المحيط عن درجة حرارة أي عنصر للحيز الداخلي، يحدث انتقال الحرارة بالحمل. فعلى سبيل المثال، عندما تتم تهوية البناء ليلاً، يتم تبريد كتلته عن طريق انتقال الحرارة بالحمل من الجدران والسقف الأكثر دفئاً إلى الهواء المتدفق الأبرد. وبعكس ذلك، فعندما تتم تهوية البناء، وخاصة البناء عالي الكثافة، أثناء ساعات النهار الحارة، تتم تدفئة كتلته عادة عن طريق الحمل بواسطة الهواء الخارجي الأحر.

ح- التسلل هو عبارة عن تسرب غير مقصود (غير متوقع) للهواء الخارجي من خلال الشقوق حول النوافذ والأبواب. وقد يشكل في الشتاء مصدراً هاماً لخسارة الحرارة، ومصدراً لاكتساب الحرارة أثناء ساعات الحر صيفاً، وخاصة في حالة الأبنية المعزولة بشكل جيد.

**تبادل الحرارة بالإشعاع:**

إن انتقال الحرارة بالإشعاع هو عبارة عن الطاقة المتبادلة بين الأسطح عن طريق الأمواج الالكترومغناطيسية (المغناطيسية الكهربائية) عبر حيز ما. حيث يقوم أي سطح بإصدار طاقة إشعاعية يمكن وصفها إما بـ «أجزاء» منفصلة (فوتونات) أو أمواج بأطوال معينة. ففي سياق انتقال الحرارة بالإشعاع في الأبنية، يكون الوصف الخاص بالموجة هو الوصف القابل للتطبيق. حيث يكون منشأ الطاقة الإشعاعية المقذوفة عبارة عن اهتزاز جزيئات السطح. وهو ينسب إلى القوة الرابعة (المربعة) لدرجة حرارة السطح المطلقة (٢٧٣+°C أو ٤٩٢+°F). فنتيجة خسارة الطاقة عن طريق الإشعاع الصادر، يتم خفض درجة حرارة العنصر المصدر للإشعاع. ويتم نشر موجة الإشعاع خلال الحيز حتى تصطدم بسطح غير شفاف، حيث يتم امتصاصها جزئياً (وعكسها بشكل جزئي). ويزيد الإشعاع الممتص اهتزاز جزيئات السطح مؤدياً بذلك إلى رفع درجة حرارة المادة التي حدث فيها الامتصاص. كما يصدر (يشع) السطح الأكثر دفئاً من محيطه طاقة أكبر من الإشعاع الذي يحصل عليه من الأسطح الأبرد من حوله. وبهذه الطريقة تنتقل الحرارة بواسطة الإشعاع من الأسطح الأدفئ إلى الأبرد.

كما يقاس طول موجة الطاقة الإشعاعية بالميكرون (جزء من مليون من المتر) أو النانومتر (جزء من بليون من المتر، ويختصر nm). فكلما كان طول الموجة أقصر كلما كان مستوى طاقة الإشعاع أعلى. ولابد من التمييز بين الإشعاع الشمسي الموجي القصير (تمت مناقشته في الفصل الثاني) والإشعاع الحراري الموجي الطويل (يناقش في هذا الفصل)، وذلك من منظور خاصيات مواد البناء ودور الإشعاع في توازن طاقة الأبنية. إذ يقسم الإشعاع الشمسي ذاته بشكل واسع إلى زمر ثلاث لأطوال الموجة وهي: فوق البنفسجي (أدنى من ٤٠٠nm)، والذي يحدث آثاراً بيولوجية. والإشعاع المرئي (الضوئي) (٤٠٠-٧٦٠nm). والأشعة تحت الحمراء (٧٦٠-٣٠٠٠nm)، والتي لاتمكن رؤيتها بالعين البشرية ولكنها تحدث أثراً في

التدفئة. أما بالنسبة للإشعاع الحراري (الموجي الطويل)، والذي يتم إصداره من الأسطح بدرجات حرارة شائعة على الأرض، فيتراوح مجال طول موجته بين ٣٠٠٠-٢٠,٠٠٠ nm.

وتتمتع الأسطح المبنية من مواد غير شفافة بثلاث خاصيات تحدد سلوكها فيما يتعلق بالإشعاع ـ وهي قوة الإشعاع، قابلية الامتصاص، وقابلية الانعكاس ـ والتي قد تختلف مع طول الموجة المحدد للإشعاع. وتتعلق قوة الإشعاع بإصدار وامتصاص الإشعاع الموجي الطويل، بينما تتعلق قابلية الامتصاص والانعكاس التي يتمتع بها السطح باستجابته للإشعاع الشمسي. وقوة إشعاع سطح ما، E، هي قدرته على إصدار إشعاع موجي طويل، نسبة إلى جسم أسود «تام». (و «الجسم الأسود» هو جسم، أو سطح يمتص كامل الإشعاع الساقط). ويعطى الإشعاع الموجي الطويل، راد Rad، الصادر من سطح يتمتع بقوة إشعاع مفترضة E بالعلاقة:

$$\mathbf{Rad = E\ (T/100)\ 4}$$

حيث T هي درجة الحرارة المطلقة (١٥.C+273) أو ( F+459.67) هو ثابت ستيفن ـ بولتزمان Steven-Boltzmann، يتمتع بقيمة ٥,٦٧ في النظام المتري و١٧١٣,٠ في النظام البريطاني.

وتبلغ قوة إشعاع سطح أسود «تام» (١). بينما تكون قوة إشعاع الأسطح الأكثر شيوعاً (باستثناء المعادن)، بغض النظر عن لونها، حوالي ٠,٩. وقوة إشعاع المعادن المطلية (كورق الألمنيوم) حوالي ٠,٠٥.

كما تعتمد قابلية امتصاص الإشعاع الشمسي، a، لسطح ما على لونه. فهو يحدد جزء الإشعاع الشمسي الساقط الذي يتم امتصاصه على السطح وتحويله إلى طاقة حرارية. أما قابلية الانعكاس، r، فهي جزء الإشعاع الشمسي الساقط الذي ينعكس بعيداً، دون التأثير على درجة حرارة السطح. ولذلك فإن:

$$\mathbf{a - ١ = r}$$

أما فيما يتعلق بالإشعاع الموجي الطويل، تتساوى قيم قوة الإشعاع وقابلية الامتصاص التي يتمتع بها سطح مفترض، وهي اسمياً:

$$a = E$$

وعلى أي حال، فبالنسبة للإشعاع الشمسي، يمكن أن تختلف قيم قابلية الامتصاص لسطح مفترض إلى حد كبير. إذ يعد اللون المرئي لسطح ما مؤشراً جيداً على قابلية الامتصاص التي يتمتع بها ولكن ليس على قوة الإشعاع.

وتكون قوة إشعاع جميع الأسطح الاعتيادية، باستثناء المعادن، نفسها تقريبياً بغض النظر عن ألوانها ـ وهي اسمياً حوالي ٠,٩ . كما تختلف قابليات امتصاصها، من جهة أخرى، بشكل كبير استناداً إلى لون السطح. وهكذا على سبيل المثال، يتمتع سطح اعتيادي /أبيض اللون بقابلية امتصاص منخفضة جداً (حوالي ٠,٢-٠,٣) وقد يتمتع سطح غامق بقابلية امتصاص تبلغ حوالي ٠,٨، ولكن قوة إشعاع كل منهما هي حوالي ٠,٩ .

### ألبيدو الأسطح: Albedo

تعرف الاستجابة الكلية لسطح ما تجاه الإشعاع عبر الطيف الشمسي الكلي متضمناً الأشعة تحت الحمراء التي لاترى للعين البشرية ـ وقابلية انعكاسه الفعالة ـ على أنها albedo ذلك السطح. حيث يكون للأسطح الملونة التي تبدو لها ظلمة (أو سطوع) متشابه، albedo مختلف وسيكون لها درجات حرارة مختلفة بفعل التعرض لأحوال مفترضة للإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الهواء. وعلى أي حال، فمن المفهوم العملي، يعدلون السطح مؤشراً جيداً على قابلية الانعكاس التي يتمتع بها.

فعندما يصطدم الإشعاع الشمسي بعنصر زجاجي شفاف أو نصف شفاف، يجب أن نأخذ خاصية أخرى بالحسبان ـ وهي قابلية النقل التي تتمتع بها المادة. حيث يرسل جزء من الإشعاع إلى الداخل، وينعكس جزء منه، ويمتص جزء داخل مادة

الزجاج. حيث تتمتع مختلف المواد الزجاجية بقابلية انعكاس وامتصاص مختلفة جداً، كما ناقشنا في الفصل الثاني.

### التغييرات في أنماط انتقال الحرارة:

أثناء عملية التدفق من خلال جدار أو سقف، قد تغير الحرارة نمط انتقالها. ولذلك، تصل الطاقة الشمسية إلى جدار ما بشكل إشعاع موجي قصير، ويتم امتصاصها في السطح الخارجي، وتدفقها عبر مادة الجدار عن طريق التوصيل. وربما يتم رفع حرارة السطح الخارجي إلى درجة حرارة أعلى من البيئة المحيطة وخسارة جزء من الطاقة الممتصة عن طريق الحمل والإشعاع الموجي الطويل إلى البيئة الخارجية. ولو تضمن الجدار فسحة هوائية، تتدفق الحرارة عبر الفسحة بواسطة اجتماع الحمل والإشعاع الموجي الطويل، وتستمر بالتدفق من خلال الطبقة الداخلية عن طريق التوصيل. وفي النهاية، تنتقل الحرارة من السطح الداخلي إلى الهواء الداخلي والأسطح الداخلية بواسطة الحمل والإشعاع الموجي الطويل، على التوالي.

## الخاصيات الحرارية للمواد وعناصر البناء:

تنظم المواد في الأبنية لتشكيل عناصر بسماكة محددة وهي: غلاف البناء (الجدران الخارجية والسقف) والعناصر الداخلية (الطوابق والقواطع الداخلية). وقد يتألف كل عنصر من عدة طبقات من مواد مختلفة. ويحدد تركيب الطبقات المختلفة في الغلاف، وإلى حد ما، في الطبقات الداخلية أيضاً، الأداء الحراري للبناء. وهكذا يعتمد تأثير عناصر البناء على الأداء الحراري على الخاصيات الفيزيائية، السماكة، وتوضع (داخل العنصر) الطبقات التي تتألف منها العناصر.

كما يناقش هذا الفصل الخاصيات الحرارية لمواد البناء والتي تؤثر على درجات الحرارة الداخلية في الأبنية المكيفة بغير الهواء والأبنية الشمسية السلبية، واستهلاك الطاقة في الأبنية المتمتعة بتدفئة وتبريد آلي. ولقد ناقشنا في الفصل الثاني خاصيات المواد الزجاجية فيما يتعلق بالإشعاع.

وتتجلى الخاصيتان الحراريتان الرئيسيتان لعناصر البناء، واللتان تتحكمان بتدفق الحرارة وتحددان تأثيرها على الأداء الحراري للأبنية، في مقاومتها الحرارية، R، (أو عكسها، قيمة U)، وقدرتها الحرارية. وتعد خاصيات العنصر هذه وظيفة لخاصيات المواد وسماكة الطبقات التي تتألف منها. أما الخاصيات الرئيسة للمواد فهي الكثافة (c)، قابلية التوصيل (K)، والحرارة المحددة (C).

كما يخلق التفاعل بين المقاومة الحرارية (أو قيمة U) والقدرة الحرارية لعناصر البناء وتسلسل (ترتيب) الطبقات التي تتألف منها، خاصيات حرارية خاصة مركبة للعناصر وهي: الثابت الحراري الزمني (TTC) والقدرة الحرارية اليومية (DHC). ونعرف المعنى الفيزيائي وتأثير الخاصيات المركبة هذه أدناه.

وبالإضافة إلى الخاصيات الحرارية للمواد، تقوم أسطح عناصر البناء بامتصاص وعكس الإشعاع الشمسي الذي يصطدم بالسطح، وإصدار وامتصاص الإشعاع الموجي الطويل. كما تقوم العناصر الشفافة وشبه الشفافة (الزجاج) بنشر جزء من الإشعاع الساقط. وهكذا فإن خاصيات المواد المرتبطة بالإشعاع هي: قابلية الامتصاص (a)، وقابلية الانعكاس (r)، وقابلية النشر (t)، وقوة الإشعاع (E). ونعرف هذه التعابير أيضاً في المقطع التالي.

**تعاريف الخاصيات ووحداتها (الوحدات البريطانية بين قوسين):**

- قابلية التوصيل الحراري (K): وهي درجة تدفق الحرارة خلال لمساحة سطح واحدة لعنصر بناء بسماكة واحدة، وفرق درجة حرارة لكل واحدة. وواحدتها هي C.m/W (Btu.in/ft2.F أو Btu/h.ft.F).
- الكثافة (p): الكتلة لكل واحدة حجم، kg/m3 (lb/ft3).
- الحرارة المحددة (C): وهي الطاقة المطلوبة لرفع درجة حرارة كتلة واحدة بكل درجة سيلسيوس. وواحدتها هي Btu/lb.FWh/kg.C.

● القدرة الحرارية الحجمية:(Cv) وهي الحرارة المحددة المضاعفة بالكثافة. والطاقة المطلوبة لرفع درجة حرارة واحدة حجم للمادة بدرجة واحدة. وواحدتها هي Wh/m3.C (Btu/ft3.F). هكذا فإن:

$$Cv = P*c$$

● قابلية النشر الحرارية (a): قابلية التوصيل (k)، المقسمة بالقدرة الحرارية المحددة، اسمياً. وهي a = (c.p/k). (وواحدتها هي m2/h).

**خاصيات مواد البناء:**

● قيم توصيل السطح :(ho and hi) وهي معاملات تبادل الحرارة بين أسطح الجدار (أو السقف) والهواء الخارجي والداخلي على التوالي. ووحدتها على (Btu/ h.ft2.F W/m2.C).

● مقاومات السطح :(ro and ri) أي عكوس قيم توصيل السطح: ro = l/ho and ri = l/hi على التوالي.

● المقاومة الحرارية :(rj) لطبقة مفترضة ضمن عنصر بناء هي نسبة السماكة (l) لطبقة مفترضة إلى قابلية التوصيل لمادة تلك الطبقة، اسمياً: rj = lj/kj. والمقاومة الحرارية الإجمالية لعنصر مؤلف من طبقات عديدة، R، هي مجموع مقاومات الطبقات الفردية، متضمناً مقاومة السطح، بغض النظر عن ترتيب الطبقات داخل العنصر: R = (rj).

وتعتمد مقاومات الطبقات الهوائية للسطح (الهواء المتصل بالأسطح) على السرعة الدينامية قربه. ويتعرض السطح الداخلي عادة للهواء الساكن وتكون مقاومته المفترضة بشكل شائع، Rin، ٠,١٢ في النظام المتري و٠,٦٨ في النظام البريطاني. كما يعرض السطح الخارجي عادة للريح (ويفترض أن تكون حوالي ٧ s/m، ١٥ mph في الحسابات القياسية). وتكون مقاومة طبقته المفترضة بشكل

شائع ٠,٠٣ في النظام المتري و٠,١٧ في النظام البريطاني.

● النقل الحراري (قيمة U): وهو النقل الحراري من خلال واحدة مساحة للعنصر، في واحدة زمن (ساعة)، لكل واحدة اختلاف في درجة الحرارة بين درجات حرارة الهواء الداخلي والخارجي. وواحدتها هي w/m2.C (Btu/h.ft2.F).

● القدرة الحرارية (Q): وهي الطاقة المطلوبة لرفع درجة حرارة واحدة مساحة لعنصر البناء بدرجة واحدة. وواحداتها هي wh/m2.C (Btu/ft2.F). انظر الملاحظة أ.

● الثابت الحراري الزمني (TTC) وهو الناتج الفعال للمقاومة الحرارية والقدرة الحرارية لأحد عناصر الغلاف. وواحدته هي الزمن (ساعات). وTTC هو عبارة عن حاصل نواتج القدرة الحرارية، Q، والمقاومة، R، وقيم الطبقات المختلفة، عندما يتم احتساب مقاومة كل طبقة من السطح الخارجي. ونوضح لاحقاً في هذا الفصل إجراء احتساب TTC. انظر الملاحظة ج .

● القدرة الحرارية النهارية لمساحة الواحدة (w/m2.C:،dhc) (Btu/h.ft2.F) وهي الطاقة الشمسية المتخللة التي يتم تخزينها أثناء ساعات النهار في مساحة واحدة لعنصر الكتلة الحرارية والتي يتم إطلاقها للحيز الداخلي أثناء ساعات الليل، لكل درجة تأرجح للحرارة. انظر الملاحظة د.

● القدرة الحرارية النهارية للعنصر (W/C:،DHC) (Btu/h.F) وهي الطاقة الشمسية التي تيم تخزينها أثناء ساعات النهار في عنصر ما وإطلاقها إلى الحيز الداخلي أثناء الليل، لكل درجة تأرجح للحرارة. انظر الملاحظة د .

**خاصيات المباني الكاملة:**

● معاملات خسارة الحرارة للمباني UA و :(BLC) يعبر UA عن خسارة أو اكتساب الحرارة الإجمالية الساعية لكامل البناء، لكل درجة اختلاف بين درجات الحرارة الداخلية والخارجية. وهي حاصل قيم U لعناصر الغلاف المختلفة (بما فيها النوافذ)، والمضاعفة بمساحاتها الخاصة. وواحدتها هي W/C (Btu/h.F).

أما BLC فهو معامل خسارة الحرارة اليومية لكامل البناء، لكل درجة اختلاف بين المعدلات اليومية لدرجات الحرارة الداخلية والخارجية. وواحدته هي Btu/ Wh/C.Day) F.Day).

● القدرة الحرارية النهارية الإجمالية للبناء :(BLCB) وهي الطاقة الشمسية التي يتم تخزينها أثناء ساعات النهار في جميع عناصر الكتلة الحرارية وإطلاقها إلى الحيز الداخلي أثناء الليل، لكل درجة تأرجح للحرارة. وواحدتها هي (Btu/ Wh/C.Day F.Day).

● ولمناقشة الاختلافات في تأثيرات كل من TTC،UA ، و BLC على الأداء الحراري للأبنية.

## الخاصيات الإشعاعية للأسطح والزجاج:

● قوة الإشعاع (E): وهي قدرة السطح على إصدار إشعاع موجي طويل، نسبة إلى الإشعاع الصادر عن «جسم أسود».

● قابلية الامتصاص (a): وهي جزء الإشعاع الساقط الذي يتم امتصاصه على السطح. وبالنسبة للإشعاع الموجي الطويل: a = E. ولايكون الإشعاع الشمسي، E، غالباً مساوياً لـ a.

● قابلية الانعكاس (r): وهي جزء الإشعاع الساقط الذي يتم عكسه بعيداً. وهو بالنسبة للأسطح الغير شفافة r = ١- a.

● النشر الشمسي للزجاج :(tg) وهو جزء الطاقة الشمسية الساقطة التي يتم نشرها في الداخل من خلال العنصر الزجاجي.

## ملاحظات حول تأثير خاصيات المواد:

أ- العلاقة بين الكثافة والقدرة الحرارية: لعنصري القدرة الحرارية الحجمية -

وهما الكثافة والحرارة المحددة ـ يكون مجال الأولى صغيراً جداً. وتعد الحرارة الأكبر المحددة من بين مواد البناء هي حرارة الخشب والبلاستيك (٠,٤-٠,٥، وفقاً لحجم الماء فيها) والأدنى هي حرارة الفولاذ (٠,١١)، بحيث يكون المجال الكلي حوالي ١-٤,٥. وخلافاً لذلك، فإن مجال كثافة مواد البناء يكون واسعاً جداً. حيث تكون كثافة الهواء (والذي يمكن اعتباره «مادة بناء» على شكل فسحات هوائية) حوالي ١,١٥، بينما كثافة الاسمنت الكثيف هي ٢٤٠٠ ـ أي مجال من ١-٢٠٠٠ تقريباً. وحتى لو اعتبرت كثافة البوليسترين الخفيف الممدد (٢٠) الأدنى بين مواد البناء التي نستخدمها، يكون المجال من ١-١٢٠. وكنتيجة لذلك، يظهر ارتباط وثيق للقدرة الحرارية لجدار ما، أو للبنية ككل، يوزنها ذلك الجدار.

ونظراً لتشابه الحرارة المحددة لمعظم المواد الحجرية تقريباً (الاسمنت، الآجر، الحجر، والطوب) (أي بحدود ٠,٢-٠,٢٤ Whr/kg) أو (Btu/lb.F)، تنسب القدرة الحرارية الإسمنتية بشكل هام إلى الكثافة والحجم الكلي لتلك المادة.

ب- دور قابلية النشر في الأداء الحراري للأبنية: تؤدي قابلية النشر الأعلى إلى نشر أسرع للحرارة من خلال كتلة المادة. ففي معظم مواد البناء التي يتم استخدامها بشكل شائع، تزداد كل من قابلية التوصيل والقدرة الحرارية مع كثافة المادة، بحيث لاتظهر علاقة واضحة وبسيطة بين الكثافة وقابلية النشر.

وبالنسبة لمعظم مواد البناء، تنسب القدرة الحرارية للكثافة، بينما تزداد قابلية التوصيل بشكل غير متناسب أسرع مما تزداد مع الكثافة المتزايدة. وهكذا على سبيل المثال، يكون للاسمنت الصب مع كثافة ٢٢٠٠ kg/m3 (137 lb/ft3)، قابلية توصيل تبلغ حوالي ١,٣ (m.C/W) (٧٥.٠ Btu/hr.F.ft) بينما تكون قابلية توصيل الاسمنت خفيف الوزن مع كثافة ٦٠٠ kg/m3 (37.5lb/ft3 ) فقط حوالي ٠,٢ (٠,٠١٢). وبالنتيجة، تكون قابلية النشر التي يتمتع بها الاسمنت الكثيف أكبر بـ٠,٨ مرة من الاسمنت خفيف الوزن.

ويعد دور قابلية النشر فيما يتعلق بالأداء الحراري للأبنية نظرياً بشكل رئيسي، إذ يدخل في العديد من الحلول التحليلية لمشكلات نقل الحرارة غير المستقرة.

ت- الثابت الحراري الزمني : (TTC) إن الثابت الحراري الزمني لعنصر من عناصر الغلاف هو الخاصية الرئيسة، في الأبنية المكيفة بغير الهواء، والتي تحدد تأثير ذلك العنصر على تباطؤ تأرجح درجة الحرارة الداخلية، نسبة إلى تأرجح درجة الحرارة الخارجية. وهو حاصل نواتج القدرة الحرارية، Q، والمقاومة R، لمختلف الطبقات في العناصر - أي اسمياً، حاصل قيم R×Q. كما أنه يعتمد على تنظيم (تسلسل) الطبقات التي يتألف منها العنصر. فعلى سبيل المثال، يتم حساب قيمة QR للطبقة الثالثة بالصيغة:

$$QR3 = [l/ho + (l/k)2 + ((l/2)/k)3*(l*p*c)3$$

وهي مكافئة لـ:

$$QR3 = [ro + r1 + r2 + 0.5*r3]* (l*p*c)3 \text{ (Givoni 1979)}$$

ونعرض لاحقاً في هذا الفصل مناقشة أكثر تفصيلاً حول TTC وإجراء حسابها، متضمنة مثالين عدديين.

ث- القدرة الحرارية النهارية :(DHC) تحدد القدرة الحرارية النهارية (DHC) للبناء قدرة كتلته الحرارية الداخلية على امتصاص الطاقة الشمسية المتخللة عبر النوافذ، متجاوزة بذلك الأثر المكيف للجدران والسقف، وعلى إطلاق الحرارة الممتصة ثانية إلى الهواء الداخلي أثناء ساعات الليل. كما تحدد HC القدرة الفعالة لبناء تتم تهويته في الليل وإغلاقه أثناء ساعات النهار على خزن «الطاقة الباردة» الليلية. وتعتمد هذه الآثار بشكل رئيسي على خاصيات الطبقة المعرضة مباشرة للهواء الداخلي والتي تعبر عن الناتج الفعال للقدرة الحرارية لتلك الطبقة وقابلية التوصيل التي تتميز بها مادتها .كما تحدث الطبقات في عنصر بناء مفترض والتي

تكون أبعد عن الحيز الداخلي، أثراً صغيراً على قدرة ذلك العنصر على خزن وإطلاق الطاقة الشمسية، أو الطاقة الليلية «الباردة»، أثناء الدورات اليومية. وتتمتع DHC بأهمية خاصة في التدفئة الشمسية السلبية بالاكتساب المباشر والتبريد الليلي بالتهوية في الأبنية. وواحداتها هي Wh/C أو Btu/F.

والقدرة الحرارية النهارية للبناء ككل (DHC)، هي حاصل القدرة الحرارية النهارية لجميع عناصر الكتلة المحيطة بالحيز الداخلي للبناء والواقعة في داخله (أجزاء داخلية)، والتي تسهم بشكل فعال في عملية الخزن الحراري النهاري للحرارة التي تجتاز غلاف البناء:

$$DHC = Ai \times (dhc)\ i$$

ولقد تم تطوير مفهوم القدرة الحرارية النهارية من قبل بالكومب (Balcomb et Balcomb،al. 1982 ١٩٨٣). كما قام الكاتب بتطوير نموذج رياضي للتنبؤ بالأثر الكمي DHC على أداء الأبنية المتمتعة بتدفئة سلبية بالاكتساب المباشر للحرارة (انظر Givoni ١٩٨٧)، وسنقوم بشرحه في الفصل الرابع.

**قابلية التوصيل الحرارية لمواد البناء الشائعة:**

بالنسبة للمواد الحجرية (الاسمنت، الآجر، الخ.....)، تزداد قابلية التوصيل مع كثافة المادة: فالاسمنت الكثيف (كثافة تبلغ حوالي ٢,٣٠٠ kg/m3 أو ١٤٤ lb/ft3) يتمتع بقابلية توصيل أعلى من الاسمنت الإنشائي، الـ autoclaved خفيف الوزن (كثافة حوالي ٧٠٠ kg/m3 أو ٤٤ lb/ft3).

ويبين الشكل ٣-١ العلاقة بين الكثافة (بـ kg/m3) وقابلية التوصيل فيما يتعلق بالمواد الحجرية الصلبة: مختلف أنواع الأحجار، أنواع مختلفة من الاسمنت بنطاق واسع للكثافة، أو الآجر. ولقد تم جمع البيانات من مصادر عديدة مختلفة، وبشكل رئيسي من (١٩٩١) Szokolay وكتيب ASHRAE (١٩٨١). والصيغة التي تصف هذه العلاقة بالنسبة للمواد الحجرية هي:

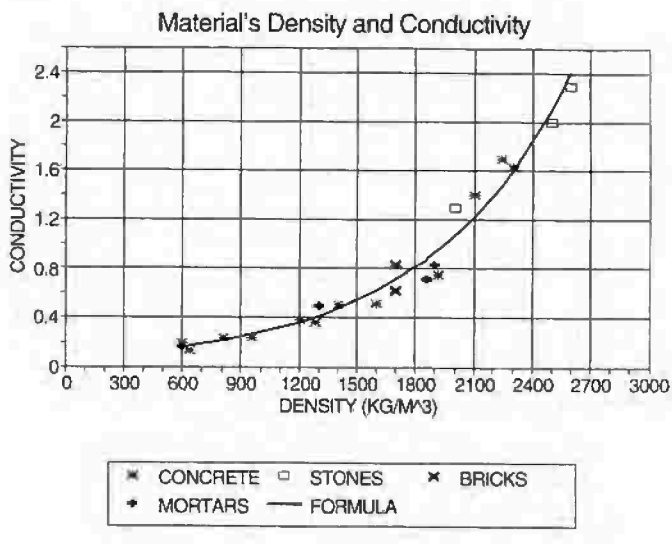
$$\text{قابلية التوصيل} = 0.072 * \exp\ (1.35* (\text{Density}/1000)$$

حيث يمكن استخدام هذه الصيغة لتقدير قابلية توصيل المواد الحجرية عندما تعرف الكثافة.

أما مواد العزل، كالرغوات foams البلاستيكية والفابيرجلاس، فهي خفيفة الوزن جداً. إذ لاتظهر علاقة واضحة لقابلية توصيل رغوات البلاستيك العازلة، كالبوليسرين والبوليروثان polyure than، بكثافة الرغوة، ويكون مجالها بين ٠,٠٢٥ و٠,٠٣٥ (٠,١٧ و٠,٢٤ Btu.in/h.ft2.F).

كما يبين الجدول ٣-١ في الصفحة.... قابلية التوصيل لمختلف مواد البناء. حيث تختلف القيمة الفعلية لقابلية التوصيل لمادة مفترضة للبناء أيضاً مع حجم الرطوبة (والذي يختلف تباعاً بفعل أحوال مختلفة للكشف).

ولذلك يمكن اعتبار أية قيمة مؤسسة كتقارب فقط للقيمة الفعلية التي نجدها في كشف ميداني.




الشكل ٣-١ العلاقة بين الكثافة (بـ kg/m3) وقابلية التوصيل بالنسبة للمواد الحجرية الصلبة. من مصادر مختلفة.

## قابلية التوصيل والمقاومة لعناصر بناء مبتكرة:

يتم تصنيع العديد من عناصر البناء، مثل الآجر، قوالب الاسمنت، ألواح الجص، والعزل الـ batt، بسماكات قياسية ومن ثم تجميعها كأجزاء من المقطع العرضي لعناصر الغلاف. ومن المفيد معرفة قابلية التوصيل والمقاومة التي تتمتع بها هذه العناصر بالنسبة لهذه السماكات القياسية، وذلك لتسهيل عملية حساب قيمة U للعناصر المجمعة. ويبين الجدول ٣-٢ قابلية التوصيل والمقاومة لعدد من المنتجات المصنعة. ونشير إلى قابلية توصيل مثل هذه المنتجات القياسية المبتكرة بـ C، ومقاومتها C/1 = R. كما يمكن إضافة مقاومات طبقة مفترضة إلى مقاومات طبقات أخرى، لإنتاج المقاومة الكلية لعنصر البناء. وتضم العديد من الكتب (مثل Stein et al،ASHRAE Handbook 1981 ١٩٨٦) جداولاً مفصلة لقابلية التوصيل والمقاومة للعديد من عناصر البناء الموحدة تلك.

**الجدول ٣-١. قابلية التوصيل الحرارية لبعض مواد البناء**

| المادة | النظام المتري (W/m.C) | الوحدات البريطانية (Btu.in/ft$^2$.hr.F) |
|---|---|---|
| | ١,٧ | ١٢ |
| | ١,٥ | ١٠,٥ |
| | ١,٣ | ٩ |
| | ١,٣ | ٩ |
| | ٠,٧ | ٥,٠ |
| | ٠,٨ | ٥,٥ |
| | ٠,٧ | ٥ |
| | ٠,٢٥ | ١,٨ |
| | ٠,١٦ | ١,١ |
| | ٠,١٦ | ١,١ |
| | ٠,١٢ | ٠,٨ |
| | ٠,١٢ | ٠,٨ |
| | ٠,٠٥ | ٠,٣٥ |
| | ٠,٠٣٥ | ٠,٢٥ |
| | ٠,٠٢٥ | ٠,١٦ |

الجدول ٣-٢. قابلية التوصيل والمقاومة الحرارية لبعض المنتجات المصنعة المبتكرة.

**الجدول ٣-٢. قابلية التوصيل والمقاومة الحرارية لبعض المنتجات المصنعة المبتكرة.**

| | النظام المتري | | النظام البريطاني | |
|---|---|---|---|---|
| | قابلية التوصيل | المقاومة | قابلية التوصيل | المقاومة |
| | ١٠,٠ | ٠,١٠ | ١,٧٨ | ٠,٥٦ |
| | ٩,٠ | ٠,١١ | ١,٦٠ | ٠,٦٢ |
| | ٠,٥ | ٢,٠ | ٠,٠٩ | ١١ |
| | ٠,٣٠ | ٣,٣ | ٠,٠٥ | ١٩ |
| | ٥,٦ | ٠,١٨ | ٠,٩٦ | ١,٠٤ |
| | ٥,٠ | ٠,٢٠ | ٠,٩٠ | ١,١١ |
| | ٣,٧ | ٠,٢٧ | ٠,٦٦ | ١,٥٢ |
| | ٣,٠ | ٠,٣٣ | ٠,٥٤ | ١,٨٥ |

كما يعرض الجدول ٣-٣ قيم قابلية التوصيل لأنواع عديدة للنوافذ، متضمنة الزجاج ذو المقاومة العالية (وقابلية التوصيل المنخفضة) والذي تم تطويره حديثاً، باستخدام الطبقات الخارجية ذات قوة الإشعاع المنخفضة.

الجدول ٣-٣. قابلية التوصيل الحرارية (قيم U) لبعض أنواع الزجاج:

**الجدول ٣-٣. قابلية التوصيل الحرارية (قيم U) لبعض أنواع الزجاج:**

| نوع النافذة | الوحدات المترية | الوحدات البريطانية |
|---|---|---|
| | ٦,٠ | ١,١ |
| | ٣,٠ | ٠,٥٥ |
| | ٢,٠ | ٠,٣٥ |
| | ٢,٣ | ٠,٤ |
| | ٢,٨ | ٠,٥ |

**مقاومات الفسحات الهوائية:**

يمكن أن تكون الفسحات الهوائية في الأبنية عمودية، في الجدران، وأفقية أو مائلة، في الأسقف. ويكون التوصيل الإجمالي لفسحة هوائية مطوقة حاصل عنصرين هما: نقل الحرارة الإشعاعي ونقل الحرارة بالحمل. إذ يعتمد عنصر الحمل على موقع الفسحة الهوائية (عمودياً أو أفقياً). إذ يعتمد في حالة الفسحة الهوائية الأفقية على اتجاه تدفق الحرارة، للأعلى أو الأسفل، والذي ينعكس بين الصيف والشتاء. بينما يعتمد عنصر الإشعاع على قوة إشعاع الأسطح المقيدة للفسحة الهوائية.

ففي الشتاء، عندما تتم تدفئة البناء ويكون الجانب السفلي للفسحة الهوائية للسقف (علية) أدفئ من الجانب العلوي، يتم تعزيز الحمل الطبيعي. أما في الصيف، عندما يكون السقف عادة أحر من الحيز الداخلي ويكون الجانب العلوي للفسحة الهوائية أحر من الجانب السفلي، يتم إخماد الحمل. كما تزداد الاختلافات تبعاً لاتجاه تدفق الحرارة في الفسحات الهوائية الأفقية والمائلة عندما يتشكل للحيز طبقة انعكاسية نظراً لإخماد التبادل الإشعاعي حيث يتم تدفق الحرارة الرئيس عندئذ عن طريق الحمل. أما في حالة الفسحات الهوائية العمودية في الجدران، يتمدد الهواء الدافئ قرب السطح الأكثر دفئاً ويرتفع بينما ينخفض الهواء المبرد قرب السطح الأبرد. ويكون اتجاه تدفق الحرارة أفقياً ويفترض معامل الحمل قيمة متوسطة بين حالتي الفسحة الهوائية للسقف.

كما لايتأثر عنصر الإشعاع بتكييف الفسحة الهوائية واتجاه تدفق الحرارة ولكنه يختلف إلى حد كبير مع قوة الإشعاع، E، للأسطح المقيدة للفسحة الهوائية. وتكون قوة إشعاع الأسطح الاعتيادية حوالي ٠,٩، وقوة إشعاع المعادن المطلية كورق الألمنيوم حوالي ٠,٠٥، مؤدية إلى الحد من نقل الحرارة بالإشعاع بعامل ٢٠تقريباً. وعندما تعد سطحي الفسحة الهوائية بمواد انعاكسية، مع قوتي إشعاع E1 و E2، على

التوالي، يتم احتساب قوة الإشعاع الفعالة Eeff بالصيغة:

$$Eeff = 1 / (1 / E1 + 1 / E2 -1)$$

ويكون العنصر الإشعاعي لقابلية التوصيل الإجمالية، hr، عندئذ:

$$hr = 5.67 * Eeff * (T/100)^4 \quad \text{(متري)}$$

أو

$$hr = 0.1713 * Eeff * (T/100)^4 \quad \text{(بريطاني)}$$

حيث T هي درجة الحرارة المطلقة.

ويزداد توصيل الفسحات الهوائية بدرجات حرارة أعلى (أثرها على الحمل) ومع فروق أعظم في درجات الحرارة عبر جانبي الفسحة (مؤثرة على كل من الحمل والإشعاع). كما تكون مقاومات هذه الفسحات (الأرقام المستخدمة في حسابات المقاومة الكلية وقيمة U) أصغر بشكل موافق مع درجات حرارة أعلى ولفروق في درجات الحرارة.

ويعرض الجدول ٣-٤ المقاومات الحرارية للفسحات الهوائية، مع أسطح اعتيادية وسطح انعكاسي واحد، وفي أوضاع مختلفة واتجاهات مختلفة لتدفق الحرارة. حيث تفترض درجة حرارة متوسطة داخل الفسحة الهوائية تبلغ 30 $C^o$ ( 86 $F^o$) في الصيف و0 $C^o$ ( 32 $F^o$) في الشتاء. بينما يكون الفرق المفترض في درجة الحرارة 10 $C^o$ ( 18 $F^o$)كما تكون القيم المقترحة للفسحات الهوائية المخططة lined أدنى إلى حد ما من البيانات المنشورة، مع أخذ التدهور الشائع في قابلية الانعكاس بالحسبان بسبب استقرار الغبار، التأكد، وغير ذلك....

كما يمكن أن نرى في الجدول ٣-٤ بأن التبطين lining الانعكاسي لأحد الأسطح يزيد المقاومة الحرارية لذلك السطح بحدود ثلاثة أضعافها. ولهذا الخط أهمية خاصة عند وضعه على السطح العلوي للفسحات الهوائية الأفقية حيث يكون تراكم

الغبار أقل. حيث يكون تبطين lining السطح السفلي أقل فعالية بسبب إمكانية خفض القوة الانعكاسية إلى حد كبير مع الزمن بسبب الغبار.

أما بالنسبة للأسطح العمودية، يمكن الحصول على مقاومة أعلى عن طريق ثني الطبقة الانعكاسية في منتصف الفسحة. فبهذه الحالة يتوفر لدينا سطحين إضافيين انعكاسيين، وبالإضافة إلى ذلك، يضيف الهواء الذي يصلهما إلى المقاومة الحرارية الكلية للفسحة الهوائية. ولكن مثل هذا التطبيق، على أي حال، قد يتطلب جهداً مكثفاً أكبر.

**الجدول ٣-٤. مقاومات الفسحات الهوائية (DELT = 10°C، والواحدات البريطانية بين قوسين)**

| وضع الفسحة | اتجاه تدفق الحرارة | | الأسطح: درجة حرارة انعكاسية متوسطة | | | غير ـ انعكاسية | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| عمودي | أعلى | (صيفاً) | ٣٠ | ٠,٣٩ | (٢,٢) | ٠,١٥ | (٠,٨٠) |
| | | (شتاءً) | ٠ | ٠,٣٥ | (٢,٠) | ٠,١٨ | (١,٠) |
| | أسفل | (صيفاً) | ٣٠ | ٠,٩٣ | (٥,٣) | ٠,١٨ | (١,٠) |
| | | (شتاءً) | ٠ | ١,١ | (٦,٢) | ٠,٢٣ | (١,٣) |
| أفقي | أفقي | (صيفاً) | ٣٠ | ٠,٦٥ | (٣,٧) | ٠,١٥ | (٠,٨) |
| | | (شتاءً) | ١٠ | ٠,٥٨ | (٣,٣) | ٠,١٨ | (١,٠٥) |

الجدول ٣-٤. مقاومات الفسحات الهوائية (DELT = 10°C، والواحدات البريطانية بين قوسين)

### العزل الانعكاسي (الفواصل الإشعاعية):

يتألف العزل الإشعاعي من صفائح ذات أوجه من ورق الألمنيوم يتم إدخالها في الجدران و/أو العليات، مع فجوة هوائية مجاورة. ويتحقق أثر العزل من خلال عمليتين فيزيائيتين هما: انعكاس الإشعاع الموجي الطويل الصادر باتجاه الفاصل من سطح أكثر دفئاً و/أو الإصدار المخمد بشكل كبير للإشعاع الموجي الطويل باتجاه

الأسطح الأبرد. كما يمكن إدخال الفواصل الإشعاعية في كل من الجدران (وضع عمودي) وعلية السقف (وضع أفقي أو مائل).

ففي الوضع العمودي /الجدار لايوجد هناك أي اختلاف رئيسي في الأداء الموسمي (الصيف مقابل الشتاء) للفواصل الإشعاعية. كما لانتوقع أيضاً وجود اختلاف أساسي في أداء جدار مع فاصل إشعاعي عند مقارنته مع جدار بعزل تقليدي لديه نفس المقاومة الحرارية.

ومن جهة أخرى، تعد الفواصل الإشعاعية الأفقية في العلية أكثر فعالية في الصيف، في تخفيض الاكتساب الحراري، من فعاليتها في الشتاء، في خفض خسارة الحرارة. والسبب هو أن تدفق الحرارة للأعلى عن طريق الحمل شتاءً يضم أكثر من نصف تدفق الحرارة الإجمالي كما لايمكن خفضه عن طريق الفاصل الإشعاعي. أما في الصيف على أي حال، عندما تتدفق الحرارة للأسفل، يتم إخماد الحمل طبيعياً إلى حد كبير وزيادة تأثير الفاصل الإشعاعي، في إخماد العنصر الإشعاعي لاكتساب الحرارة.

ولقد أجريت أبحاث و نماذج تجريبية مكثفة جداً حول تأثير الفواصل الإشعاعية على الأداء الحراري للأبنية، صيفاً وشتاءً، من قبل Chandra et al.C ١٩٨٦ في مركز فلوريدا للطاقة الشمسية (FSEC) في كيب كانا فيرال Cape Canaveral في فلوريدا.

فقد قامت Chandra et al. بمقارنة آثار تعزيز المقاومة الحرارية لعلية «base case (R-١٩)، على استهلاك الطاقة للتبريد في الصيف والتدفئة في الشتاء، وذلك في العديد من المدن في الولايات المتحدة عن طريق إضافة عزل batt من الفايبرجلاس للسقف أو فاصل إشعاعي R-١١.

والجدول ٣-٥ هو عبارة عن عرض موجز للنتائج التي توصلت إليها Chandraet al.، مبينة ادخارات الطاقة (بـ KWh) الناتجة عن تعزيز عزل العلية عن طريق تقنيتين، بالنسبة للتبريد بمكيف هوائي مع SEER مقدر (تقدير فعالية الطاقة

الموسمية، Whr/Btu) يبلغ ٨,٠، وتدفئة بنظام يبلغ COP (معامل الأداء: التبريد الموزع/ الطاقة المستهلكة) ٢ (أي مضخة حرارة حسب الافتراض).

ولاحظت Chandra et al. بأن الفاصل الإشعاعي الذي تمت إضافته تفوق على العزل التقليدي المكافئ (مقاومة التوصيل)، على أساس سنوي، في جميع المناخات التي خضعت للتحليل، باستثناء شيكاغو. ففي معظم المدن الجنوبية، حيث يعد التبريد شحنة رئيسية للطاقة، كانت الادخارات مع الفاصل الإشعاعي حوالي ضعف الادخارات مع العزل التقليدي المحسن.

الجدول ٣-٥. الحد من استهلاك الطاقة (KWH/SEASON) إما بواسطة عزل فايبرجلاس التقليدي أو عزل الفاصل الإشعاعي.

**الجدول ٣-٥. الحد من استهلاك الطاقة (KWH/SEASON) إما بواسطة عزل فايبرجلاس التقليدي أو عزل الفاصل الإشعاعي.**

| | التبريد | | التدفئة | | سنوياً | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| المدينة | R-11 | RB | R-11 | RB | R-11 | RB |
| Jacksonville, FL | ٢١٧ | ٤٢٧ | ١٠٠ | ١٠٠ | ٣١٧ | ٥٢٦ |
| Houston, TX | ٢٠٢ | ٣٨٩ | ١٢٢ | ٩٥ | ٣٢٤ | ٤٨٤ |
| Atlanta, GA | ١٥٥ | ٣٤٢ | ٢٢٤ | ١٦٣ | ٣٨٠ | ٥٠٤ |
| Baltimore, MD | ١٢٥ | ٢٨٣ | ٣٧٢ | ٢٤٩ | ٤٩٧ | ٥٣٢ |
| Chicago, IL | ٩٤ | ٢١١ | ٤٧٥ | ٢٧٨ | ٥٦٩ | ٤٩٠ |

وتضاف الفواصل الإشعاعية غالباً للعزل التقليدي (مثل batts الفايبرجلاس)، بهدف تحسينه. ففي هذه الحالة تتم إضافة مقاومتها الحقيقية لمقاومة العزل «القياسي»، لإنتاج مقاومة إجمالية للعنصر المركب. ويعد التطبيق الأفضل للفواصل الإشعاعية على أسقف المنازل الـ skin-load dominated في الأقاليم التي يوجد فيها عنصر شمسي رئيسي لشحنة التبريد. وقد يظهر تأثيرها الأعظم في الأبنية الـ single-story في الأقاليم الحارة ـ المشمسة.

ويتضمن بحث Chandra et al. (١٩٨٦) تقنيات بناء مفصلة لتطبيق الفواصل الإشعاعية في أنواع عديدة للأسقف والجدران.

عينة من حسابات قيم U للجدران المركبة:

لقد تم احتساب قابلية التوصيل لجدارين مركبين أدناه كمثالين على إجراء احتساب قيم U لعناصر الغلاف ـ الجدار الأول مع فسحة هوائية داخلية والجدار الثاني دون فسحة.

حيث يتألف الجدار الأول من (من الخارج):

- طبقة إسمنتية لاصقة بسماكة ٢سم ( ٨،.").
- بوليسترين ممدد ٢,٥سم (١").
- الاسمنت الكثيف ١٠سم (٤")،
- لصقة داخلية ١سم (٠,٤").

ويتألف الجدار الثاني (قشرة آجر، ونوع حائط دعامة) من:

- طبقة من الآجر الظاهر بسماكة ١٠سم (٤")
- فسحة هوائية بعرض ٣سم (١,٢") مع تبطين lining انعكاسي على جانبها الداخلي.
- آجر common ٥سم (٢")
- لصقة داخلية ١سم (٠,٤").

ويوضح الشكل ٣-٦ أ حسابات المقاومات الكلية للجدارين بالنظام المتري بينما يظهرها الشكل ٣-٦ب بالنظام البريطاني.

فعندما يتم احتساب قيمة U لعنصر البناء، سواء أكان جداراً أم سقفاً، يمكن حساب درجة تدفق الحرارة في كل ساعة، وكل واحدة مساحة (م٢ أو ft2). حيث إن تدفق الحرارة Qi، (بالواط Watts أو Btu/h) هي قيمة U لذلك العنصر مضروبة بالفرق في درجات حرارة الداخلي (Tin) والخارجي (Tout). وهي اسمياً:

**Qi = Ui * (Tout - Tin)**

ولكن هذه الصيغة لاتأخذ بالحسبان الكتلة الحرارية للبناء، وهي صحيحة، بأمانة تامة، فقط في الأحوال المستقرة، عندما تكون درجات الحرارة الداخلية والخارجية ثابتة في مستوى معين طوال النهار. وعلى أي حال، فهي مفيدة أيضاً عندما يكون الفرق في معدل درجة الحرارة الداخلية ـ الخارجية كبيراً مقارنة مع التأرجح اليومي لدرجات الحرارة، كما في حالة المباني المدفأة في الشتاء في الأقاليم الباردة.

**الجدول ٣-٦أ. احتساب المقاومة الحرارية الكلية للجدارين (متري).**

| الجدار # ١ | | | |
|---|---|---|---|
| الطبقة | السماكة (بالأمتار) | قابلية التوصيل | المقاومة |
| مقاومة السطح الخارجي | | | ٠,٠٣ |
| جص خارجي | ٠,٠٢ | ٠,٨ | ٠,٠٢٥=٠,٨/٠,٠٢٠ |
| بوليسترين | ٠,٠٢٥ | ٠,٠٣٥ | ٠,٧١=٠,٠٣٥/٠,٠٢٥ |
| اسمنت | ٠,١٠ | ١,٧ | ٠,٠٦=١,٧/٠,١٠ |
| جص داخلي | ٠,٠١ | ٠,٧ | ٠,٠١٤=٧/٠,٠١ |
| مقاومة السطح الداخلي | | | ٠,١٢ |
| المقاومة الحرارية الكلية، R | | | R= ٠,٩٥٩ |
| قيمة U (1/R) | | | U= ١,٠٤٣ |
| الجدار # ٢ | | | |
| | السماكة (بالأمتار) | قابلية التوصيل | المقاومة |
| مقاومة السطح الخارجي | | | ٠,٠٣ |
| جص خارجي | ٠,٠٢ | ٠,٨ | ٠,٠٢٥ =٠,٨/٠,٠٢٠ |
| الاسمنت | ٠,١٠ | ١,٧ | ٠,٠٦ =١,٧/٠,١٠ |
| فسحة هوائية (انعكاسية) | | | ٠,٦ |
| آجر | ٠,٠٥ | ٠,٧ | ٠,٠٧ =٠,٧/٠,٠٥ |
| جص داخلي | ٠,٠١ | ٠,٧ | ٠,٠١٤ =٠,٧/٠,٠١ |
| مقاومة السطح الداخلي | | | ٠,١٢ |
| المقاومة الحرارية الكلية، R | | | R= ٠,٩٢ |
| قيمة U (1/R) | | | U= ١,٠٩ |

**الجدول ٣-٦ب. احتساب المقاومة الحرارية الكلية للجدارين (بريطاني).**

| الجدار # ١ | | | |
|---|---|---|---|
| الطبقة | السماكة (بالانش) | قابلية التوصيل | المقاومة |
| مقاومة السطح الخارجي | | | ٠,١٧ |
| جص خارجي | ٠,٨ | ٥,٥ | ٠,١٥ =٥,٥/٠,٨ |
| بوليسترين | ١,٠ | ٠,٢٥ | ٤,٠ =٠,٢٥/١,٠ |
| اسمنت | ٤,٠ | ١٢ | ٠,٣٣ =١٢/٤,٠ |
| جص داخلي | ٠,٤ | ٥,٠ | ٠,٠٨ =٥,٠/٠,٤ |
| مقاومة السطح الداخلي | | | ٠,٦٨ |
| المقاومة الحرارية الكلية، R | | | R= ٥,٤١ |
| قيمة U (1/R) | | | U= ٠,١٨٥ |
| الجدار # ٢ | | | |
| | السماكة (بالانش) | قابلية التوصيل | المقاومة |
| مقاومة السطح الخارجي | | | ٠,١٧ |
| جص خارجي | ٠,٨ | ٥,٥ | ٠,١٥ =٥,٥/٠,٨ |
| الاسمنت | ٤,٠ | ١٢ | ٠,٣٣ =١٢/٤,٠ |
| فسحة هوائية (انعكاسية) | | | ٣,٣= |
| آجر | ٢,٠ | ٥,٠ | ٠,٤ =٥/٢ |
| جص داخلي | ٠,٤ | ٥,٠ | ٠,٠٨ =٥,٠/٠,٤ |
| مقاومة السطح الداخلي | | | ٠,٦٨ |
| المقاومة الحرارية الكلية، R | | | R= ٥,١١ |
| قيمة U (1/R) | | | U= ٠,١٩٥ |

الجدول ٣-٦ب. احتساب المقاومة الحرارية الكلية للجدارين (بريطاني).

## الإجراءات القياسية لاحتساب خسارة/

## اكتساب الحرارة للبناء:

إن الخسارة الكلية للحرارة لأحد الأبنية هي ناتج معامل خسارة الحرارة، UA، والفرق في درجة الحرارة بين درجة الحرارة الداخلية المفترضة (Tin) ودرجة الحرارة الخارجية «للتصميم» (To)، وهي اسمياً

**خسارة الحرارة Q =UA * (Tin – To)**

ويتألف معامل خسارة الحرارة لبناء ما (بالنسبة للأحوال الشتوية) من عنصرين هما: خسارة الحرارة بالتوصيل، Qc، وخسارة الحرارة بالتسلل، Qv.

وإلى الحد الذي توجد فيه مصادر حرارة داخلية «موثوقة»، كالإضاءة والمعدات الكهربائية (البراد، الموقد، الحواسيب، وما إلى ذلك)، التي تعمل في الساعات التي تظهر فيها الحاجة لتشغيل نظام التدفئة، فإن الحرارة التي تولدها هذه المصادر، Qi، تؤخذ بالحسبان كاكتساب للحرارة، إذ تحد من القدرة الضرورية المحتسبة لمصنع التدفئة. وهكذا تكون الحرارة «النهائية» الضرورية، Qnet:

$$Qnet = UA (Tin - To) - Qi$$

كما تستخدم حسابات خسارة الحرارة مبدئياً لتحديد حجم مصنع التدفئة وأخذ الأحوال الأسوأ بالحسبان ولذلك فإن «الاعتراف credit» باكتساب الحرارة الشمسية، والتي تغيب في الأيام الغائمة، لايؤخذ بعين الاعتبار في الحساب القياسي لخسارة الحرارة وتقدير حجم مصنع التدفئة.

ويختلف الوضع في الأبنية الشمسية السلبية، والتي يتمك تصميمها خصيصاً لاستخدام الطاقة الشمسية كمصدر رئيسي للحرارة. وسنناقش هذا الموضوع في الفصل الرابع.

### خسارة الحرارة بالتوصيل:

إن خسارة الحرارة بالتوصيل لبناء ما، Qc، هي حاصل خسارات الحرارة من خلال العناصر العديدة لغلاف البناء، وهي العناصر الغير شفافة (الجدران والسقف) بالإضافة إلى النوافذ والعناصر الزجاجية الأخرى، مع أخذ مساحاتها الخاصة، قيم Ai، و Ui، والفرق في درجة حرارة الهواء الداخلي ـ الخارجي (Tin-To) بالحسبان:

$$Qc = (Ai * Ui) * (Tin - To)$$

وهناك حالة خاصة يمثلها بناء ذو أرضية من ألواح الاسمنت (at grade). حيث

يفترض بشكل شائع أن تكون خسارة الحرارة من خلال الأرضية فقط من محيط الأرضية. ويحتسب هذا العنصر لخسارة الحرارة لكل واحدة طول من المحيط (م أو ft)، وتأخذ عادة قيمة التوصيل (الطولية) البالغة ١,١ C.m/W (٠,٦٤ Btu/ h.ft.F) بالحسبان.

**خسارة الحرارة بالتسلل:**

يمكن أن نعبر عن جريان الهواء بالتسلل بشكلين هما:

أ- درجات جريان الهواء، V، في m3/hr أو ft3/hr (م٣/ساعة أو ft3/ساعة).

ب- درجات تغير الهواء، ach، محددة عدد المرات التي يتغير فيها حجم الهواء الكلي للحيز، Vol، في الساعة.

ويرتبطان بالصيغة:

$$Vol * ach = V$$

كما تعتمد كل من درجات جريان الهواء وتغيره على أحكام الهواء في البناء. فقد تكون درجة تغير الهواء في بناء محكم جيداً حوالي ٠,٥ أو أدنى حتى. وفي الحسابات القياسية لخسارة الحرارة تفترض غالباً قيمة تعادل الواحد ١ لدرجة تغير الهواء.

وتنسب خسارة الهواء بالتسلل، Qv، إلى الفرق بين درجة حرارة الهواء الداخلي، Tin، ودرجة حرارة الهواء الخارجي، To، ويعبر عنهما بالشكلين:

أ- بتعابير درجة جريان الهواء:

$$Qv = V*( \rho * c) a *(Tin - To)$$

ب- بتعابير درجات تغير الهواء:

$$Qv = ach*(\varnothing *c)\ a*\ (Tin - To)$$

حيث (c * $\varnothing$ ) a هي السعة الحرارية للهواء. وتتغير قيمتها مع درجة الحرارة، والتي تحدد كثافة الهواء. ففي الحسابات القياسية، تؤخذ قيمة ٠,٣٣ (Wh/m3C) لـ (c * $\varnothing$) a في النظام المتـــري، و١٢٠٠ (m3C/J) في النظام SI، و٠,٠١٨ (Btu/ ft3F) في النظام البريطاني.

**معامل خسارة الحرارة الكلية، UA، وخسارة الحرارة من أحد الأبنية:**

يتم عادة تنظيم المعلومات الضرورية لحساب معامل خسارة الحرارة الكلية لبناء ما، UA (التسلل + التوصيل)، في جدول، كما يوضح الجدول ٣-٧أ في الواحدات المترية. بينما يعرض الجدول ٣-٧ب الإجراء ذاته بالواحدات البريطانية (وتختلف المجموعتان قليلاً بسبب تدوير rounding الأشكال).

حيث تفترض الأمثلة بناء single-story مع مساحة أرضية (إجمالية) ١٠٠م٢ (ft2١٠٨٠)، مع جدران شمالية وجنوبية بطول ١٢م لكل منها (ft٤٠) وجدران شرقية وغربية بسماكة ٨,٣م (ft٢٧) لكل منها، مع سقف ارتفاعه ٢٠٥م (ft٨). فالجدران الشرقية والجنوبية مشابهة للشكل ١ في الجدول ٣-٧، مع قيم U تبلغ ١,٠٤٣ W/m2 . CI (Bth/h.ft2.F0.185)بينما تشبه الجدران الشمالية والغربية الشكل ٢ في الجدول ٣-٧، مع قيم U تبلغ ١,٠٩٠ W/m2.C (Bth/h.ft2 0.195) ولكل من الجدارين الطويلين ثلاث نوافذ ولكل من الجدارين القصيرين نافذتين، وجميع النوافذ بطبقة زجاجية واحدة مع قيم U تبلغ ٦ W/m2.C (Bth/h.ft1,06) كما تبلغ مساحة كل نافذة منها ١م٢ (١٠,٧٦ ft2). ويشبه السقف (المستو) في بنائه الجدار من الشكل ١، ولكن بدلاً من اللصقة الخارجية، فهو يتألف من طبقات إسمنتية خفيفة الوزن مقاومة للماء، منتجاً قيمة U تبلغ ٠,٩٥ W/m2.C (Bth/h.ft1,06) والأرضية عبارة عن بلاط إسمنتي on grade. كما يبلغ حجم البناء ٢٤٠م٣ (٨٤٧٥ ft3).

أو القيمة المفترضة لمصدر حرارة داخلية إجمالية فهي ١ KW ( 3.41 Kbtu ). والحرارة الداخلية المفترضة هي20 $C^{o}$ (68 $F^{o}$ ) ودرجة الحرارة الخارجية «للتصميم» هي 0 $C^{o}$ (32 $F^{o}$ )

## حسابات خسارة الحرارة الشهرية بطريقة درجة - يوم:

إن قيمة الدرجة ـ اليوم ليوم مفترض هي الفرق بين المعدل اليومي لدرجة الحرارة الخارجية ودرجة الحرارة «الأدنى» التي تتغير مع توليد الحرارة الداخلية. أما الدرجة ـ اليوم الشهرية فهي حاصل جمع الدرجات ـ الأيام لشهر كامل. وتستخدم غالباً قيمة 18,3 $C^{o}$ (65 $F^{o}$ ) كقاعدة الاحتساب الدرجة ـ اليوم في الأبنية السكنية، مع افتراض الحاجة لهذه التدفئة فقط عندما يكون معدل درجة الحرارة الخارجية ليوم مفترض أدنى من هذا المستوى.

**الشكل ٣-٧أ معامل خسارة الحرارة (UA) لأحد الأبنية (متري)**

| العنصر | المساحة (A) | قيمة $U_i$ | (W/C) $AxU_i$ |
|---|---|---|---|
| الجدار الجنوبي | ٢٧ | ١,٠٤٣ | ٢٨,٢ |
| الجدار الشمالي | ٢٧ | ١,٠٩ | ٢٩,٤ |
| الجدار الشرقي | ١٨,٧ | ١,٠٤٣ | ١٩,٥ |
| الجدار الغربي | ١٨,٧ | ١,٠٩ | ٢٠,٤ |
| ١٠نوافذ @ ١م$^{٢}$انش | ١٠ | ٦,٠ | ٦٠,٠ |
| السطح | ١٠٠ | ٠,٩٥ | ٩٥,٠ |
| الأرضية (طول المحيط) | ٤٠,٦م | ١,١ | ٤٤,٧ |
| خسارة الحرارة الكلية بالتوصيل | | | (W/C) ٢٩٧ |
| خسارة الحرارة بالتسلل (١ ach): ٠,٣٣×١×٢٤٠ | | | ٧٩ |
| معامل خسارة الحرارة الكلية (UA) | | | (W/C) ٣٧٦ |
| خسارة الحرارة اللحظية الكلية: ٣٧٦*(٢٠-٠)- ١٠٠٠ | | | KW ٦,٥٢ |

جدول ٣-٧ أ معامل خسارة الحرارة (UA) لأحد الأبنية (متري)

**الشكل ٣-٧ب معامل خسارة الحرارة (UA) لأحد الأبنية (تقريبي بريطاني).**

| العنصر | المساحة (A) | قيمة $U_i$ | $A \times U_i$ (Btu/h.F) |
|---|---|---|---|
| الجدار الجنوبي | ٢٩٠ | ٠,١٨ | ٥٤ |
| الجدار الشمالي | ٢٩٠ | ٠,١٩ | ٥٦ |
| الجدار الشرقي | ٢٠١ | ٠,١٨ | ٣٧ |
| الجدار الغربي | ٢٠١ | ٠,١٩ | ٣٩ |
| ١٠نوافذ @ ١٠,٧ $ft^2$ | ١٠٧ | ١,٠٦ | ١١٤ |
| السطح | ١٠٧٦ | ٠,١٧ | ١٨٠ |
| الأرضية (الطول) | ft ١٣٣ | ٠,٦٤ | ٨٥ |
| خسارة الحرارة الكلية بالتوصيل | | | ٥٦٥ (Btu/h.F) |
| التسلل (١ ach): ٠,٠١٨×١×٨٤٧٥ | | | ١٥٠ |
| معامل خسارة الحرارة الكلية (UA) | | | ٧١٥ (Btu/h.F) |
| خسارة الحرارة اللحظية الكلية: ٧١٥*(٦٨-٣٢)-٣٤١٠ | | | ٢٢,٣٣ KBtu/h |

جدول ٣-٧ب معامل خسارة الحرارة (UA) لأحد الأبنية (British-rounded).

كما يمكن تقييم احتياجات التدفئة الشهرية الإجمالية لبناء ما بناتج ضرب معامل خسارة الحرارة لبناء (UA) والدرجات ـ الأيام الشهرية :(Ddmon)

= (UA) * (Ddmon)الحاجة الشهرية للتدفئة

وتتوفر جداول للدرجات-الأيام الشهرية للعديد من المدن. أما بالنسبة للولايات المتحدة، نستطيع إيجاد هذه المعلومات في Balcomb et al. (١٩٨٠) لكل شهر وفي Stein et al. (١٩٨٦) لشهري كانون الثاني وتموز فقط.

### حسابات اكتساب الحرارة «القياسية» (أحوال فصل الصيف):

إن الاختلاف الرئيس بين حسابات خسارة الحرارة واكتساب الحرارة القياسية هو أنه في حالة اكتساب الحرارة، يجب أن تأخذ بالحسبان تأثيرات الاكتساب الشمسي المباشر (التخلل من خلال النوافذ) وغير المباشر (الممتص في غلاف البناء)، بالإضافة إلى تأثير القدرة الحرارية على نموذج اكتساب الحرارة (إبطاء نطاق الحرارة القصوى والدنيا وتأخير زمنها). ولذلك، تختلف إجراءات حساب

الاكتساب الحراري من خلال عناصر الغلاف الغير شفافة (الجدران والسقف) والاكتساب الحراري من خلالالنوافذ، وهي أكثر تعقيداً من الإجراءات المتبعة في حالة حسابات خسارة الحرارة.

ففي التعامل مع تأثيرات القدرة الحرارية على الأداء الحراري (درجات الحرارة الداخلية) للأبنية، هناك اعتبارات أخرى يجب النظر إليها، بالإضافة إلى الاكتساب الحراري وأثره على شحنات التبريد. وتتضمن هذه الاعتبارات مسائل الراحة في الأبنية المكيفة بغير الهواء، حيث لايتم استخدام أية طاقة، كما سنناقش لاحقاً في هذا الفصل.

**الاكتساب الحراري من خلال النوافذ:**

للاكتساب الحراري من خلال النوافذ عنصرين هما: الاكتساب الشمسي والاكتساب بالتوصيل. فالاكتساب بالتوصيل من خلال مساحة واحدة من الزجاج يعتمد على قيمة U التي يتمتع بها الزجاج (Ugl) كما في حالة خسارة الحرارة، ويتم احتسابه بالصيغة ذاتها:

$$q = Ug\ (To - Tin)$$

(بافتراض درجة حرارة خارجية أعلى من درجة الحرارة الداخلية).

ويحدث اكتساب الحرارة الشمسي من خلال الزجاج عندما تشرق الشمس على الزجاج الذي نتحدث عنه. ويعتمد عنصر اكتساب الحرارة الشمسية على شدة الإشعاع الشمسي الذي يصطدم بالزجاج، والذي يتغير أثناء ساعات النهار وهو يختلف أيضاً تبعاً للتكييفات المختلفة للنافذة. كما أنه يعتمد على النشر الشمسي للزجاج. وبالتالي، يعتمد النشر الشمسي على نوع (ومعالجة) الزجاج، بما فيها التظليل. وبشكل عام فقد تشمل الطاقة الشمسية المتخللة عبر النوافذ جزءاً هاماً جداً من الاكتساب الحراري الإجمالي.

وبالإمكان تأمين الحد المستمر من الاكتساب الشمسي عبر النوافذ بواسطة معالجات مخصصة للزجاج. فعلى سبيل المثال، يحد الزجاج العاكس للضوء من الاكتساب الحراري الشمسي للبناء، عن طريق زيادة جزء الإشعاع الشمسي الساقط الذي ينعكس بعيداً، محدثاً بذلك أثراً ملازماً للتظليل دون تعارضه مع القدرة على رؤية المحيط الخارجي. وعلى أي حال، يسبب هذا النوع من الزجاج غالباً مشكلات بصرية للمشاة والسائقين.

ويعرف معامل التظليل للزجاج، SC، على أنه النشر الإجمالي للطاقة، نسبة إلى معامل الزجاج ذو الطبقة الواحدة. إذ ينشر الزجاج ذو الطبقة الواحدة تقريباً الأجزاء ذاتها من الضوء المرئي والطاقة الشمسية الإجمالية: أي حوالي ٨٧٪ و٨٤٪ بالنسبة للإشعاع العمودي، على التوالي. أما بالنسبة للزجاج المضاعف، فإن نسب النشر الموافقة هي ٨٠٪ و٧٢٪. وفيما يتعلق بالزجاج المضاعف بطبقة ذهبية ساطعة على الجانب الداخلي من اللوح الخارجي، يكون نشر الضوء حوالي ٥٨٪ بينما يكون النشر الشمسي الإجمالي ٣٥٪ فقط.

ينبغي أن ندرك، على أي حال، بأن هذا النوع من الزجاج يخفض أيضاً الاكتساب الشمسي في الشتاء، عندما يرغب به.

### الاكتساب الحراري من خلال عناصر البناء الغير شفافة:

يتأثر اكتساب الحرارة من خلال الجدران والأسقف بالطاقة الشمسية التي يتم امتصاصها في السطح الخارجي، كما تمثلها درجة حرارة الشمس ـ الهواء sol-air (انظر الفصل الثاني). وهي درجة حرارة الهواء الخارجي المكافئة التي قد تنتج نفس الاكتساب الحراري من خلال العنصر الذي نتحدث عنه، دون أية طاقة شمسية، كما قد يظهر مع درجة حرارة الهواء الفعلية ودرجة سقوط الإشعاع. والصيغة التي تعبر عن درجة حرارة الشمس ـ الهواء Tsa هي:

$$Tsa = Ta + (a * I / h0) - LWR$$

حيث: Ta = درجة حرارة الهواء الخارجي.

a = قابلية الامتصاص التي يتمتع بها السطح.

I = الإشعاع الشمسي الساقط.

h0 = معامل نقل الحرارة للسطح الخارجي (٢٠ بالواحدات المترية، ٣,٥ في الواحدات البريطانية).

= LWR هبوط درجة الحرارة بسبب الإشعاع الموجي الطويل إلى السماء.

أما بالنسبة لسقف تحت سماء صافية، يكون LWR حوالي ٥ C٥ (9٥F)، وبالنسبة لجدار يطل على حقل مفتوح حوالي ٥C٥ (9٥F). أما عندما تكون السماء ملبدة بالغيوم، وبالنسبة لجدران مواجهة لجدران أخرى في منطقة عمرانية مكتظة بالمباني، يمكن أن تكون قيمة LWR. المفترضة صفراً. (Givoni ١٩٧٩).

**طريقة تقريبية لحساب شحنات التبريد من خلال العناصر الغير شفافة:**

لقد قام ASHRAE (١٩٨١) بتطوير طريقة مبسطة من أجل احتساب الاكتساب الحراري للتصميم (شحنات التبريد لنظام التبريد الآلي) بالنسبة للمباني السكنية عن طريق استخدام «فروق درجات الحرارة المكافئة للتصميم» (DETD). إذ يفترض بشكل شائع أن تكون درجة الحرارة الداخلية 28.3 $C^{o}$ (75 $F^{o}$ ) من أجل الحساب المستند إلى DETD.

كما يحتوي كتيب ASHRAE على جدول بقيم DETD لجدران عالية الكثافة وخفيفة الوزن، وللعديد من الأسقف (الخفيف الوزن بشكل هام). ولقد أعطيت القيم وفقاً لدرجات الحرارة الخارجية المختلفة للتصميم وثلاثة مستويات لنطاق الحرارة الخارجية (L، M، و H). وافترضت DETD جدران غامقة اللون وأسقف بألوان غامقة أو فاتحة. ويتم احتساب الاكتساب الحراري من خلال عنصر ما، بمساحة A وقابلية توصيل U، بالصيغة:

**الاكتساب Gain = U * A * DETD**

## قياس التفاعلات بين القدرة الحرارية والمقاومة الحرارية:

يعتمد الأثر الكمي للكتلة على الأداء الحراري للأبنية على التفاعل بين الكتلة وقابلية التوصيل الحرارية للمادة المكونة لعناصر الكتلة، بالإضافة إلى اعتماده على الموقع النسبي للطبقات المختلفة مع كتلة ومقاومة حرارية مختلفة. وتتألف العديد من أنواع الجدران والسقف من طبقات من مواد ذات خاصيات حرارية مختلفة، مثل مواد العزل ومواد (الآجر والإسمنت) عالي الكثافة. كما يعتمد أثر كتلة عناصر البناء هذه على معدل درجات الحرارة الداخلية، وتأرجحها، وتأخير زمنها لبناء مغلق ومكيف بغير الهواء، نسبة إلى نموذج درجة حرارة الهواء المحيط، على ترتيب طبقات الكتلة والعزل.

ويعبر عن الكتلة الفعالة (القدرة الحرارية) لبناء ما بخاصتين «مركبتين» هما: الثابت الحراري الزمني (TTC) والقدرة الحرارية النهارية (DHC).

### الثابت الحراري الزمني : (TTC)

وهو الناتج الفعال للمقاومة الحرارية والقدرة الحرارية لواحدة المساحة لعنصر البناء. ويعرَف بأنه الناتج QR المكافئ لبنية متعددة الطبقات، حيث Q هي الحرارة المخزنة في المادة وR هي مقاومتها لانتشار الحرارة من خلالها.

ويعرف TTC رياضياً بأنه حاصل النواتج الفردية للمقاومة مضروباً بالقدرة الحرارية، QRi، لطبقات عديدة للعنصر، حيث يتم احتساب المقاومة بالنسبة لكل طبقة من السطح الخارجي إلى مركز الطبقة التي نتحدث عنها، متضمناً مقاومة السطح الخارجي، ro، (٠,٠٣ في النظام المتري و٠,١٧ في النظام البريطاني). ولـ TTC بعد الزمن (ساعات).

ولذلك، تكون قيمة QR بالنسبة للطبقة الخارجية الأولى:

$$(QR)1 = [ro + (5 * l1k1)] * (l * p * c)1$$

وهي مكافئة لـ:

$$(QR)1 = [ro + 0.5 * r1)] * (1 * p * c)1)$$

ويكون تسلسل حساب TTC، لعنصر بعدد طبقات n:

$$(QR)1 = [ro + 0.5 * r1] * (l * p * c)1$$

$$(QR)2 = [ro + Cr1 + 0.5 * r2] * (l * p * c)2$$

$$(QR)3 = [ro + r1 + r2 + 0.5 * r3] * (l * p * c)3$$

$$(QR)n = \{ro + r1 + r2 + ------ + 0.5 * rn\} * (1 * P * C)n$$

$$TTC = QR1 + QR2 + QR3 + ..... + QRn + و$$

ويكون TTC لعنصر غلاف m، (TTCm) عبارة عن مساحته (Am) مضروبة بقيمته :TTC

$$TTCm = Am * TTC$$

أما TTC الإجمالي للبناء TTCTot فهو مجموع TTC مساحات عناصر الغلاف «الغير شفافة»، دون النوافذ. أما معدل TTC فهو TTC الإجمالي مقسوماً على مساحة الغلاف الإجمالي، بما فيها مساحات الزجاج:

$$TTC\ tot = \sum TTCm / \sum A$$

وهكذا، فلايعتمد أثر الكتلة فقط على سماكة ووزن جدرانها وسقفها، بل أيضاً على مقدار وموقع عزل الغلاف. وفي الواقع، فإن بناء بجدار ٢٠سم (٨) معزولة

خارجياً ببوليسترين ٥سم (٢) يعد بشكل فعال ذو «كتلة أعلى» بكثير، من منظور الأثر الحراري، من بناء بإسمنت ٤٠سم (١٦) بدون عزل، على الرغم من أنه يتمتع فقط بنصف الكتلة الاسمية. ونعرض أدناه اشتقاق الكتلة الحرارية الفعالة لبناء ما من TTC الخاصة به.

حيث يزيد TTC العالي الخمول الحراري للبناء مؤدياً إلى إخماد شديد لتأرجح درجة الحرارة الداخلية للداخل، مرسخاً بذلك درجة الحرارة الداخلية حول معدلها اليومي عندما تغلق النوافذ (وتظلل) بحيث تنعدم تهوية البناء.

كما لايحدث TTC أثراً مباشراً في الحالات التي تؤثر فيها «أمواج الطاقة اليومية» على درجات حرارة السطح والهواء الداخلي بشكل مباشر، دون تكييف أو تعديل الغلاف. وتتضمن مثل هذه الحالات، على سبيل المثال، تخلل الإشعاع الشمسي عبر النوافذ في أبنية الاكتساب الشمسي السلبي المباشر. والخاصية الفيزيائية التني تؤثر على استجابة درجة الحرارة الداخلية في هذه الحالات هي القدرة الحرارية النهارية.

ويقدم الجدول ٣-٨ مثالاً عن حسابات TTC لجدارين معزولين من الاسمنت مؤلفين من الطبقات ذاتها، ولكن بترتيب مختلف. ففي الجدار الأول، يكون العزل خارجياً بالنسبة للإسمنت بينما يكون داخلياً في الجدار الثاني.

كما يمكن أن نلاحظ من الجدول ٣-٨ بأن للمواقع النسبية للعزل وطبقات الكتلة تأثيراً هاماً جداً على القدرة الحرارية الفعالة للجدران. وبأن TTC للجدار ذي العزل الخارجي هو ٤٣,٨ ساعة وللجدار ذو العزل الداخلي ٨,٨ ساعة فقط. وبالتالي، يعزز العزل الخارجي مقدرة الكتلة الحرارية على إخماد تأرجح درجات الحرارة الداخلية تحت تأرجح خارجي مفترض، بينما من شأن العزل الداخلي معادلة الأثر المرسخ للكتلة في الطبقة الإسمنتية. وسنناقش لاحقاً تأثير الموقع النسبي لطبقات العزل والكتلة.

كما ستؤدي إضافة طبقة داخلية زائدة لجدار بعزل خارجي إلى زيادة قيمة TTC قليلاً. ولكن العزل الداخلي، حتى في الطبقات الرفيعة (١سم أو ٠,٥سم من البوليسترين على سبيل المثال) يفصل الكتلة عن الهواء الداخلي مؤدياً إلى تعديل أثرها عندما تتم تهوية البناء صيفاً أو تدفئته شتاءً عن طريق الاكتساب الشمسي المباشر. ولهذه النقطة أهمية عملية خاصة في الأقاليم التي يرغب فيها ببناء يحمي ببطء شديد أثناء ساعات النهار، عندما يتم إغلاقه، بينما يبرد بسرعة في المساء، عندما تتم تهويته. وسيتمتع البناء ذو الغلاف المؤلف من نواة كتلة عالية معزولة خارجياً، مع طبقة عازلة داخلية أرفع، TTC عالي وهكذا يحمي ببطء شديد في ساعات النهار، ولكن لو تمت تهويته في المساء، فسوف يبرد هواءه الداخلي بسرعة.

## الكتلة الحرارية الفعالة لطبقة مركبة في بناء لايتمتع بالتهوية:

تعتمد الكتلة الحرارية الفعالة لبناء لايخضع للتهوية ومبني من عناصر مركبة على وجود وموقع العزل. حيث يؤدي العزل الخارجي إلى تضخيم أثر مقدار مفترض للكتلة إلى حد هام في إخماد التأرجح الداخلي لبناء مغلق بينما لايضيف العزل الداخلي إلى القليل على ذلك الأثر.

وكما شرحنا، فإن TTC يمثل مجموع نواتج القدرة الحرارية والمقاومة الحرارية. مع تذكرنا بأن TTC عنصر الغلاف m، (TTCm) هو مساحته (Am) مضروبة بقيمة TTC الخاصة به، أي:

$$TTCm = Am * TTC = QR \text{ (ساعة)}$$

ويمكن أن تستمد القدرة الحرارية الفعالة (أو الكتلة الحرارية)، Qm، لعنصر غلاف البناء من الصيغة:

$$Qm = Am * TTC/Rm \text{ (Wh/C) Btu/F}$$

**الجدول ٣-٨ احتساب الثابت الحراري الزمني لجدارين (متري).**

| الجدار # ١ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| الطبقة | السماكة $l_i$(m) | الكثافة | المقاومة $r_i$ | CUMULAT. المقاومة | HC | $QR_i$ Hr |
| السطح الخارجي | | | | | | ٠,٠٣ |
| الجص الخارجي | ٠,٠٢ | ١٨٠٠ | ٠,٠٢٥ | ٠,٠٤٢٥ | ٤١٤ | ٠,٣٥ |
| البوليسترين | ٠,٠٢٥ | ٣٠ | ٠,٧١ | ٠,٤١ | ١٢ | ٠,١٢ |
| الاسمنت | ٠,١٠ | ٢٢٠٠ | ٠,٠٦ | ٠,٧٩٥ | ٥٠٦ | ٤٠,٢ |
| الجص الداخلي | ٠,٠١ | ١٦٠٠ | ٠,٠١٤ | ٠,٨٣٢ | ٣٦٨ | ٣,١ |
| TTC الجدار | | | | | | ٤٣,٨ |

| الجدار # ٢ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| الطبقة | السماكة $l_i$(m) | الكثافة | المقاومة $r_i$ | CUMULAT. المقاومة | HC | $QR_i$ Hr |
| السطح الخارجي | | | | | | ٠,٠٣ |
| الجص الخارجي | ٠,٠٢ | ١٨٠٠ | ٠,٠٢٥ | ٠,٠٤٢٥ | ٤١٤ | ٠,٣٥ |
| الاسمنت | ٠,١٠ | ٢٢٠٠ | ٠,٠٦ | ٠,٠٨٥ | ٥٠٦ | ٤,٣ |
| البوليسترين | ٠,٠٢٥ | ٣٠ | ٠,٧١ | ٠,٤٧ | ١٢ | ٠,١٤ |
| الجص الداخلي | ٠,٠١ | ١٦٠٠ | ٠,٠١٤ | ٠,٨٣٢ | ٣٦٨ | ٣,١ |
| TTC الجدار | | | | | | ٧,٨ |

الجدول ٨-٣ احتساب الثابت الحراري الزمني لجدارين (متري)

أما TTC غلاف البناء ككل، Qenu فهو:

**Qevn = TTCenv * (UA)**

حيث UA هو معامل خسارة الحرارة للبناء.

كما تتضمن الكتلة الحرارية الإجمالية للبناء كتلة العناصر الداخلية أي: القواطع، الطوابق المتوسطة، والخ..... وبافتراض أن هذه العناصر الداخلية غير معزولة عن الحيز الداخلي، وأنها تتفاعل معه بشكل مباشر، فإنه بالإمكان إضافة كتلتها الإجمالية، Mint، مضروبة بحرارتها المحددة، c، (٠,٢٣ Wh/kg.C أو Btu/lb.F

بالنسبة للمواد الحجرية)، إلى الكتلة الفعالة للغلاف. وهكذا تعطي الكتلة الحرارية الإجمالية الفعالة لبناء ما بالصيغة:

**Qtotal = TTCenv * (UA) + (Mpc)int (Wh/C) Btu/F**

### القدرة الحرارية النهارية (DHC)

لقد تم تطوير مفهوم القدرة الحرارية النهارية من قبل Balcomb et al. (١٩٨٢)، لتقدير احتمال القدرة الحرارية في تخزين الطاقة الشمسية في أبنية الاكتساب الشمسي السلبي المباشر. وتعرف بأنها مقدار الحرارة المخزنة لكل درجة في تأرجح درجة الحرارة. كما تشير عبارة dhc إلى عنصر ما (m2C/W أو Btu/ DHC × h.ft2F) للبناء ككل (C/W أو Btu/h.F). وقام الكاتب (انظر Givoni ١٩٨٧) بتطوير نموذجاً رياضياً بسيطاً لاحتساب DHC وأثرها على أداء أبنية الاكتساب الشمسي المباشر.

كما تحدد DHT البناء قدرته على امتصاص الحرارة من الحيز الداخلي (كالطاقة الشمسية المتخللة من النوافذ مجتازاً بذلك الأثر المكيف للجدران والسقف)، وإطلاق الحرارة الممتصة ثانية إلى الهواء الداخلي أثناء ساعات الليل. وهو يعتمد بشكل رئيسي على خاصيات الطبقة المعرضة بشكل مباشر للهواء الداخلي كما يعبر عن الناتج الفعال للقدرة الحرارة للطبقة وقابلية التوصيل التي تتمتع بها المادة.

وتشير القدرة الحرارية النهارية لأحد عناصر البناء (dhci)، بمساحة Ai، إلى مقدار الحرارة الشمسية التي يمكن تخزينها أثناء النهار وإطلاقها إلى الحيز الداخلي أثناء ساعات الليل، لكل درجة تغير في درجة حرارة الهواء الداخلي (البيئية). وواحداتها هي Wh/C أو Btu/h.F.

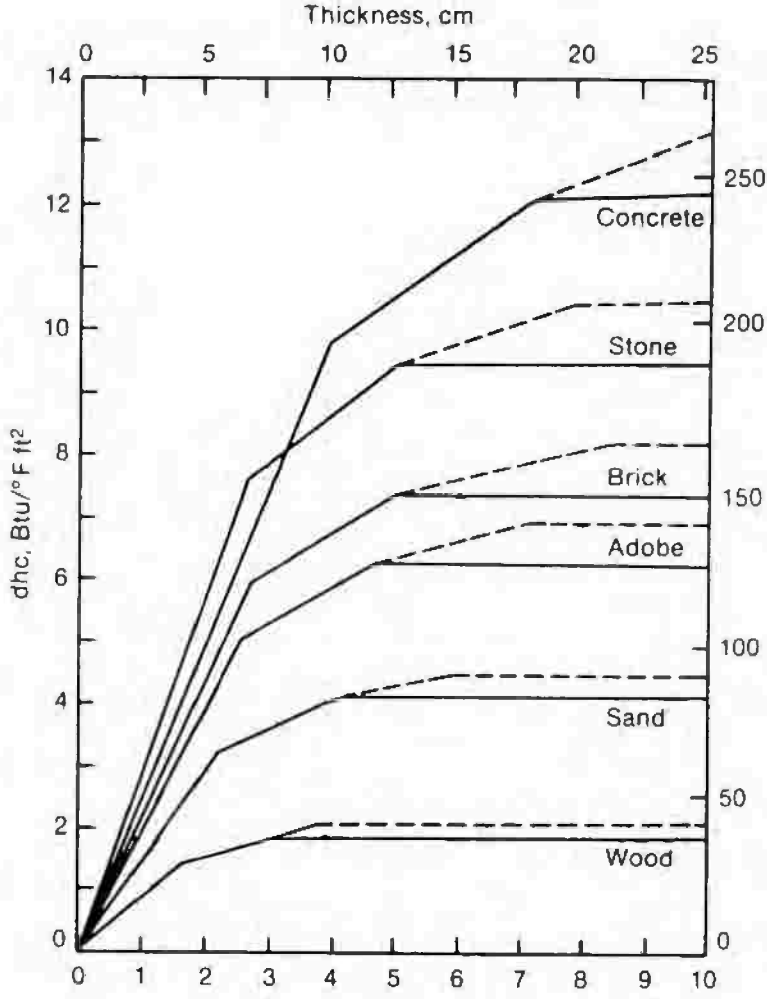
والقدرة الحرارية النهارية لكامل البناء (DHT) هي مجموع القدرات الحرارية النهارية لجميع عناصر الكتلة المحيطة بالحيز الداخلي للبناء، بالإضافة إلى العناصر الواقعة داخل ذلك الحيز (القواطع الداخلية)، والتي تسهم بشكل فعال في عملية التخزين الحراري النهارية للحرارة التي تجتاز غلاف البناء.

ويعرض الشكل ٣-٢ DHT مواد عديدة، كجزء من سماكة العنصر. (Givoni ١٩٨٧).

## تأثير ترتيب طبقات العزل والكتلة في عناصر الغلاف متعددة الطبقات على الأداء:

لقد أظهرت المناقشة المتعلقة بـ TCC و DHT بأن لترتيبات طبقات العزل والكتلة في عناصر البناء المركبة تأثيرات مختلفة في الأبنية، استناداً إلى طريق التهيجات الحرارية excitations، سواء أثرت على البناء من خلال غلافه أو تجاوزته. فعندما يتأثر البناء غالباً بتدفق الحرارة عبر الأجزاء غير الشفافة للغلاف (أي عندما لاتتم تهويته أو عندما يكون الاكتساب الشمسي من خلال النوافذ صغيراً نسبة إلى الخسارة/الاكتساب الحراري من خلال الغلاف)، فإن أدائه يتحدد بشكل رئيسي بـ TTC.

وعندما يتجلى الهدف الرئيس في احتمال الحد من تأرجح درجة الحرارة الداخلية إلى أدنى حد و/أو خفض درجة الحرارة الداخلية أثناء النهار دون الحرارة الخارجية القصوى بواسطة الكتلة الحرارية، لابد من إغلاق البناء أثناء النهار. وفي هذه الحالة، يمثل TTC القدرة الحرارية الفعالة للبناء. كما يمكن TTC من تقدير الكتلة الحرارية الفعالة لبناء مبني نم عناصر غلاف مؤلفة من طبقات عديدة من مواد مختلفة.




الشكل ٣-٢ القدرة الحرارية النهارية (DHT) لمواد عديدة

كما يمثل DHT الكتلة الفعالة عندما يتخلل مقدار من الطاقة الشمسية عبر النوافذ، مجتازاً الأثر المكيف للغلاف. وهناك حالة مشابهة لبناء تتم تهويته أثناء الليل، بهدف خزن أثر التبريد وخفض درجة الحرارة الداخلية أثناء اليوم التالي. وفي المثالين السابقين، اجتازت خسارة الحرارة أو اكتسابها الرئيس الغلاف.

أما في الجدران والأسقف متعددة الطبقات والمؤلفة من عزل خفيف الوزن ومواد ثقيلة تتمتع بالقدرة على التوصيل، يمكن لترتيب الطبقات المختلفة، من الأسطح الخارجية إلى الداخلية، أن تعدل الميزات الحرارية للبناء بشكل جذري. كما تؤدي المواد المختلفة للطبقات نفسها إلى اختلاف العلاقة بين درجة الحرارة الداخلية ودرجة حرارة الهواء المحيط، والتي تختلف في الأبنية التي تتمتع بالتهوية والأبنية التي لاتتمتع بالتهوية.

كما يعدل ترتيب طبقات العزل والكتلة إلى حد كبير تأرجح درجات الحرارة والتأخير الزمني لدرجة الحرارة الداخلية. وتمكن هذه التعديلات على الميزات الحرارية من تعديل تفاصيل البناء وفق أحوال مناخية معينة، وبشكل خاص عندما يكون النوع «الشائع» للبناء مناسباً للمخاطر الحالية للمناخ فيما يتعلق بالعوامل غير الحرارية، كما في حالة الأبنية خفيفة الوزن وذات الكثافة المنخفضة في الأقاليم التي تشهد عواصف استوائية. وترتبط مسألة الراحة والأمان الخاصة هذه بالعديد من الأقاليم الحارة-الرطبة، كجنوب شرق الولايات المتحدة وآسيا الجنوبية. وسنناقشها في الفصل الحادي عشر بتفصيل أكبر.

### العزل الخارجي وطبقات الكتلة الداخلية:

تنتج مجموعة العزل الخارجي والكتلة الداخلية TTC عالي و DHT عالي معاً. فعندما لاتتم تهوية البناء نهاراً وليلاً، يتم إخماد تأرجح درجات الحرارة الداخلية وتأخير درجتها القصوى مادياً بعد زمن درجتها الخارجية.

وفي الصيف، في الأقاليم التي تتأرجح فيها درجات الحرارة الخارجية، فعندما تتم تهوية البناء ليلاً وإغلاقه أثناء ساعات النهار، بالإمكان تخزين «الطاقة الباردة» بشكل فعال أثناء الليل وامتصاص الإشعاع الشمسي المتخلل عبر النوافذ بالإضافة إلى الحرارة المتولدة داخل البناء أثناء ساعات النهار، مع ارتفاع صغير نسبياً لدرجة

الحرارة الداخلية. وهكذا قد يكون نوع البناء هذا ملائماً في الأقاليم الحارة-الجافة بشكل خاص.

وعلى أي حال، يمكن أن تبقى درجات حرارة السطح الداخلي للعناصر ذات الكثافة العالية، ليلاً أعلى من درجة حرارة الهواء المحيط بشكل هام، وخاصة عندما تكون سرعة الريح منخفضة. وفي الأقاليم الحارة-الرطبة التي يكون فيها تأرجح درجات الحرارة الخارجية صغيراً ودرجات الحرارة عالية نسبياً ليلاً، فقد يسبب نوع البناء هذا شعوراً بعدم الارتياح أثناء الليل.

أما في الشتاء، يمكن تدفئة مثل هذا البناء بشكل فعال بواسطة الطاقة الشمسية التي تدخل عبر النوافذ مباشرة. كما يمكنه تخزين الحرارة الشمسية مع ارتفاع صغير نسبياً في درجة الحرارة الداخلية، وبذلك الحد من خطر التدفئة المفرطة. وأثناء ساعات الليل، تتدفق الحرارة المخزنة بشكل أساسي ثانية إلى الحيز الداخلي، مؤدية إلى خفض درجة التبريد.

**الكتلة الخارجية والعزل الداخلي:**

تحد طبقة العزل الداخلي من تأثير الكتلة على درجات الحرارة الداخلية. وهي تسهم قليلاً فقط في قيمة TTC، نسبة إلى الحالة التي تكون فيها طبقة الكتلة بمفردها دون عزل، وتخفض DHT. كما يحدد التأرجح في درجات الحرارة الداخلية والتأخير الزمني في بناء مغلق لاتتم تهويته بشكل أساسي بسماكة طبقة الكتلة. وعلى أي حالة، فعندما تتم تهوية البناء، تكون استجابته قريبة من استجابة البناء خفيف الوزن.

ولهذه المجموعة، للبناء عالي الكثافة مع ميزات حرارية لبناء منخفض الكثافة، أهمية خاصة في الأقاليم الرطبة التي تكون عرضة للعواصف الشديدة، والزلازل، والأعاصير الاستوائية. ففي بناء يتمتع بالتهوية، تؤمن الطبقة الخارجية الثقيلة الحماية من الرياح القوية ويعزز العزل الداخلي درجة التبريد في الليل.

### النواة عالية الكثافة والمغطاة بعزل داخلي وخارجي:

تتألف بعض أنظمة البناء الحديثة من ألواح بناء مصنعة مسبقاً، ومخصصة، وعميقة من مادة عازلة (كالبوليسترين)، وهي نموذجياً بسماكة كلية تبلغ ٢٥ سم (١٠) ونواة داخلية عميقة بسماكة ١٦ سم (٦,٤). فبعد بناء الجدار العازل، يصب الاسمنت في مساحات متشابكة للألواح. وهكذا يتم خلق جدار مركب بنواة عالية الكثافة، بسماكة ١٦سم (٦,٤)، معزول داخلياً وخارجياً بطبقات من البوليسترين بسماكة ٤,٥سم (١,٨). كما تضاف الطبقات الخارجية والداخلية إلى العزل. ويكون لهذا البناء قيمة TTC عالية، ناتجة عن العزل الخارجية ونواة الكتلة، بينما لايكون لقيمة DHT أهمية، حيث يفصل العزل الداخلي الكتلة عن الحيز الداخلي.

وعندما يتم إغلاق هذا البناء ومنع تخلل الإشعاع الشمسي، فهو يسلك كبناء نموذجي عالي الكثافة، مع تأرجح صغير في درجة الحرارة الداخلية وتأخير زمني كبير. ومن جهة أخرى، فعندما تتم تهوية البناء، يستجيب على نحو مشابه للبناء خفيف الوزن. أما عند تخلل مقدار كبير من الطاقة الشمسية عبر النوافذ، فسوف ترتفع درجة الحرارة الداخلية بشكل كبير بسبب منع العزل الداخلي لامتصاص الطاقة في الكتلة.

### عزل النواة المغطاة بطبقات اسمنتية داخلية وخارجية:

تتألف بعض أنظمة البناء الحديثة مثل (Insteel 3-D في الولايات المتحدة) من هيكل معدني للحيز يتم دمجه بنواة عزل من البوليسترين، بسماكة يمكن تحديدها. إذ يرش الاسمنت في situ من الطبقات الخارجية انتهاءً بالداخلية، مع سماكة دنيا حوالي ٣,٧سم (١,٥)، يمكن زيادتها حسب الرغبة. ويعتمد TTC هذا النوع على سماكة طبقات الاسمنت الداخلية وطبقات البوليسترين. حيث تزيد السماكة الأعلى لكل منهما من قيمة TTC. بينما يعتمد DHT بشكل أساسي على السماكة المحددة لطبقة الاسمنت الداخلية.

ومع هذا النظام، يمكن الحصول على معامل منخفض لخسارة الحرارة باستخدام سماكة كبيرة لنواة العزل.

**مقارنة تأثيرات معامل خسارة الحرارة والقدرة الحرارية:**

تحدد قيمة UA (أو BLC) لأحد الأبنية معدل شحنات التدفئة والتبريد اليومية للأبنية المكيفة آلياً (وعلى وجه الدقة، في الأحوال المستقرة)، بغض النظر عن القدرة الحرارية للبناء. إذ يسوي وجود الكتلة العالية «منحنيات» شحنات التدفئة والتبريد ويخفض ذروة الشحنات، ولكنها قد لاتؤثر على الشحنة المتوسطة. ولذلك، فعندما يكون هدفنا الحد من استهلاك الطاقة الكلي، يمكن صياغة المتطلبات المتعلقة بقيمة U، وبشكل خاص في الأقاليم ذات الحر أو البرد الشديد، دون النظر إلى القدرة الحرارية للبناء، سواء بشكل مباشر أو كما تعبر عنه قيم TTC و/أو DHC.

كما تؤثر القدرة الحرارية للبناء، كما تعبر عنها TTC، بشدة على الأداء الحراري والنموذج النهاري لدرجة الحرارة الداخلية في الأبنية المكيفة بغير الهواء. كما يمكن أن يكون للبناء الذي تكون فيه قيمة TTC عالية إلى حد كافٍ تأرجح نهاري صغير في درجة الحرارة حتى في الأقاليم ذات التأرجحات الكبيرة جداً (١٥-C٣٥، ٥٩-٩٥ F مثلاً). وفي مثل هذه الحالة، يمكن أن تحافظ TTC العالية على درجة حرارة داخلية مريحة بينما تكون درجة الحرارة الخارجية عالية جداً من مفهوم الراحة.

**البناء ذو قيمة الـ UA ذاتها ولكن بقيم DHC و TTC مختلفة:**

بما أن TTC هي ناتج المقاومة (الخارجية) والقدرة الحرارية (الداخلية)، يمكن الحصول على TTC مفترض مع مستويات مختلفة تماماً للعزل، وقيمة UA مفترضة مع مستويات مختلفة جداً للكتلة. فعلى سبيل المثال، لو قمنا بمقارنة بناء مبني بجدار دعامة بسماكة ١٠سم (٤) مملوء بالبوليسترين، مع بناء بنفس الجدار، ولكن بوجود طبقة داخلية إضافية من الاسمنت بسماكة ١٠سم (٤)، فإن لكل من البنائين قيمة UA نفسها. وعندما تتم تدفئتهما أو تكييفهما بالهواء آلياً، فقد يكون لكل منهما عملياً نفس شحنات التبريد والتدفئة.

وعلى أي حال، فقد يكون لبناء مبنى بالنوع الأول من الجدران، وبشكل خاص لو كانت نوافذه بحجم اعتيادي، قيمة منخفضة جداً لـ TTC، وفي المناخ المذكور أعلاه، تأرجح نهاري كبير جداً. كما سيكون حاراً جداً أثناء النهار وبارداً جداً أثناء الليل، وقد يحتاج إلى تدفئة وتبريد في نفس اليوم. أما بالنسبة لبناء مشابه مبنى بالنوع الثاني للجدران، من جهة أخرى، تكون قيمة TTC عالية جداً وقد يكون مريحاً طوال اليوم دون تدفئة أو تبريد.

وتلاحظ أيضاً بأن عكس موقع الطبقتين سيؤدي إلى TTC منخفضة دون تغيير مستوى الكتلة الاسمية. ولن يختلف الأداء الحراري كثيراً لبناء بالنوع الثالث من الجدران كثيراً عن الأداء الحراري للبناء في المثال الأول.

ويتجلى الاختلاف الأساسي بين نوعي البناء، على أي حال، في قيم DHC لكل منهما، والتي تحدد استجابتهما للإشعاع الشمسي المتخلل، وبشكل خاص في فصل الشتاء. فقد تكون قيمة DHC للبناء بالنوع الثاني للجدران كبيرة جداً. حيث يستطيع امتصاص كمية كبيرة من الحرارة الشمسية دون تأرجح كبير في درجات الحرارة الداخلية. وأثناء النهار، يمكن أن تكون درجات الحرارة الداخلية في ذلك البناء أعلى من المستوى الخارجي. أما في الليل، فسوف يقوم بإطلاق معظم الحرارة المخزنة ثانية إلى الحيز الداخلي ومنع درجات الحرارة المنخفضة جداً.

أما قيمة DHC للبنائين من النوع الأول والثالث، فهي منخفضة جداً باعتبار الطبقة الداخلية للجدران مؤلفة من مادة عازلة. وقد ترتفع درجة حرارة كل منهما بشكل زائد أثناء النهار مع تخلل كبير جداً للإشعاع الشمسي. أما في الليل فسوف تنخفض درجة حرارة البنائين بسرعة، وخاصة بالنسبة للبناء الأول.

### تأثيرات خاصة للقدرة الحرارية في حالات مختلفة:

تعد القدرة الحرارية للمواد هامة بشكل أساسي عندما تكون الأحوال الحرارية متقلبة أي: تأرجحات كبيرة في درجة الحرارة الخارجية مع معدلات يومية قريبة من

منطقة الراحة البشرية، وأبنية اكتساب شمسي سلبي مباشر، وتدفئة أو تبريد متقطع، وأبنية يتم شغلها وتكييفها فقط خلال جزء من اليوم، والخ... وفي كل من هذه الحالات، يعتمد أثر القدرة الحرارية على نوع مختلف من التفاعل مع قابلية التوصيل الحرارية للمواد ومقاومة عناصر الغلاف.

ففي الأبنية المكيفة (المدفئة و/أو المبردة)، وفي أحوال قريبة من وضع الاستقرار، وعندما يكون هناك فرق كبير بين درجة الحرارة الخارجية والداخلية (التي يحافظ على ثباتها تقريباً عن طريق التدفئة أو التكييف الهوائي)، يكون للقدرة الحرارية أثر بسيط على الأحوال الحرارية الداخلية. ويعتمد تدفق الحرارة وتوزيع درجة الحرارة في هذه الحالة بشكل أساسي على النشر الحراري لغلاف البناء ومقدار التدفئة أو التبريد. ويكن في الأحوال المتقلبة بشدة، وحتى في الأبنية المكيفة بالهواء، وعندما يتم تبريد أو تدفئة البنية على فترات نظراً للاختلافات في درجة الحرارة الخارجية والإشعاع الشمسي، أو تدفئتها فقط بشكل متقطع، يكون للقدرة الحرارية أثر هام في تحديد الأحوال الحرارية الداخلية.

كما تتفاعل الكتلة الحرارية، التي تؤمنها عناصر البناء عالي الكثافة في الغلاف و/أو القواطع الداخلية لبناء ما، مع المقاومة الحرارية للغلاف، وتلعب أدواراً مختلفة في التأثير على أداء البناء. وفي حالات مختلفة، وفيما يتعلق بالتحكم بدرجات الحرارة الداخلية و/أو بالنظر إلى نموذج استخدام البناء، قد تؤثر حلول التصميم المختلفة والمتعلقة بكتلة البناء على أدائه الحراري على نحو مختلف. فعلى سبيل المثال، يمكن ملاحظة الحالات التالية:

أ- عندما لايتم التحكم بدرجات حرارة البناء (أحوال «غير مستقرة »)، تحدد القدرة الحرارية التأرجح (الأعظمي أو الأدنى) في درجة الحرارة الداخلية حول المعدل اليومي، مع تأثير مباشر على راحة المقيمين في البناء وحاجات التدفئة أو التبريد.

ب- عندما تتم تدفئة البناء في الشتاء عن طريق الاكتساب الشمسي المباشر من خلال نوافذ كبيرة مواجهة للجنوب، تحدد القدرة الحرارية قدرته على تخزين حرارة شمسية زائدة من النهار واستخدامها أثناء الليل، مقللاً بذلك من احتمال حدوث التدفئة المفرطة أثناء النهار واحتمال الحاجة لاستخدام طاقة تدفئة تقليدية في الليالي الأبرد.

ت- عندما يتم تبريد البناء في الصيف عن طريق بعض الأنظمة السلبية (كتهويته أثناء الليل بهدف خفض درجات الحرارة الداخلية أثناء ساعات النهار التالية)، تحدد قدرته الحرارية إلى أي حد يمكن خفض درجة حرارته الداخلية القصوى. وسنناقش هذا الموضوع تحديداً بتفصيل أكبر في الفصل الخامس.

ث- وعندما يعتمد البناء على التهوية الطبيعية نهاراً بهدف تأمين الراحة، وخاصة في الأماكن التي تكون فيها سرعة الرياح منخفضة أو يكون الهواء ساكناً حتى في الليل، ربما يبرد البناء عالي الكثافة ببطء شديد مساءً. وسيتم إطلاق الحرارة المخزنة في الكتلة أثناء ساعات النهار إلى الحيز الداخلي أثناء ساعات الليل الهادئة. وقد يسبب ذلك اضطرابات في النوم وتراكم الإرهاق. وسنناقش هذا الموضوع أيضاً بتفصيل أكبر في الفصل الخامس.

ج- عندما تتم تدفئة البناء و/أو تبريده بنظام آلي واستخدامه فقط جزء من اليوم - كمدرسة أو بناء مكتبي على سبيل المثال - تسبب القدرة الحرارية العالية استجابة بطيئة لتشغيل أو إيقاف النظام الآلي. وفي هذه الحالة، ربما يتوجب بدء التدفئة أو التبريد قبل أن يشغل البناء. وفي نهاية العمل اليومي، أي عندما يتوقف تشغيل النظام، ستبقى الطاقة الباردة أو الحارة مخزنة في كتلة البناء، دون استخدامها فعلياً. وفي مثل هذه الحالات، قد تشكل القدرة الحرارية العالية عائقاً.

وفي المقاطع التالية، سنناقش تأثير القدرة الحرارية على الأداء الحراري للأبنية مع الرجوع إلى حالات التحكم المختلفة بدرجات الحرارة وأنماط استخدام البناء.

## الأبنية المكيفة بغير الهواء في الأقاليم ذات التأرجحات النهارية في درجة الحرارة:

تحدث قدرة مواد البناء على تخزين الحرارة أثناء دورات درجة الحرارة اليومية في الأبنية المكيفة بغير الهواء أثراً عميقاً على راحة السكان وتأرجح درجة الحرارة الداخلية في الأقاليم التي تكون فيها تأرجحات درجة الحرارة النهارية كبيرة. وتتميز الأبنية التي تكون قيمة TTC فيها عالية بدرجة حرارة داخلية مستقرة حتى بفعل التأرجحات الكبيرة لدرجة الحرارة الخارجية. وهكذا، يكون تأرجح درجة الحرارة النهارية في بناء من مواد عالية الكثافة، كالاسمنت الكثيف، ومعزول خارجياً، أصغر بكثير من البناء المعزول المبني من مواد خفيفة الوزن، كما في بناء خشبي بجدران دعامة، أو حتى عند مقارنته مع بناء مبني بمواد ثقيلة (كالآجر، الحجر، أو الطوب)، ولكنه غير معزول.

وفي المناخات والفصول التي تكون تأرجحات درجة الحرارة النهارية فيها كبيرة (حوالي ١٨° K مثلاً) وحيث تكون درجة الحرارة الخارجية المتوسطة ضمن نطاق الراحة البشرية، أي حوالي ٢٠-٢٥ °C (٦٨-٧٧ °F)، يستطيع البناء بقيمة TTC عالية الحفاظ على درجات حرارة داخلية مريحة حتى عندما تصل درجة الحرارة الخارجية القصوى إلى حوالي ٣٦ °C (٩٧ °F)، يتم تأمينها بحيث تتم تهويته في ساعات المساء والليل. بينما سيكون لبناء خفيف الوزن، أو بناء عالي الكثافة غير معزول، درجات حرارة نهارية عالية جداً من منظور الراحة البشرية، وبفعل الأحوال ذاتها.

وهكذا، فللحد من تأثير الكتلة، يفضل الغلاف ذو البنية المركبة: أي مواد عالية الكثافة معزولة خارجياً بطبقة ذات مقاومة حرارية عالية. ويمكن أن تتكون الطبقة

المقاومة العازلة للكتلة من مواد خفيفة الوزن مثل البوليسترين الممدد أو تأمينها بفسحة هوائية محاطة بسطح انعكاسي (كورق الألمنيوم مثلاً)، على الجانب الخارجي من الطبقة عالية الكثافة. حيث يؤمن مثل هذا البناء جدران بقيمة عالية لـ TTC، مؤدية إلى زيادة خفض ذروة درجة الحرارة الداخلية دون ذروة الحرارة الخارجية وتأخير زمن حدوثها.

أما في الحالات التي يبنى فيها الغلاف من عناصر عازلة منخفضة الكثافة، لايزال بالإمكان الحصول على درجات حرارة للهواء الداخلي مشابهة لدرجات حرارة البناء ذي الغلاف عالي الكثافة، فيما لو بنيت العناصر الداخلية (الأسقف والجدران القاطعة)، من مواد عالية الكثافة وبمساحة كبيرة. وعلى أي حال، فسوف تشهد درجات حرارة السطح الداخلي للجدران الخارجية تأرجحاً أكبر من الهواء الداخلي، منتجة بذلك درجات حرارة إشعاعية نهارية أعلى من البناء ذي الغلاف عالي الكثافة. وربما يتجلى الحل «المثالي» في بناء من الطبقات الداخلية للغلاف والعناصر الداخلية المبنية من مواد عالية الكثافة.

وللحصول على إخماد فعال لدرجة الحرارة في بناء عالي الكثافة، لابد من إغلاق نوافذه أثناء النهار، للحد من تدفئة الهواء الداخلي بالهواء الخارجي الأحر. وفي مثل هذا البناء، قد يتم تأجيل ذروة درجة الحرارة حتى تنخفض درجة الحرارة الخارجية بشكل كافٍ بحيث يمكن فتح النوافذ للسماح بالتهوية الطبيعية لتأمين الراحة الداخلية.

### الأبنية المكيفة بالهواء (تأثيرها على التبريد صيفاً):

في الأبنية المكيفة بالهواء، السكنية والتجارية (كالأبنية المكتبية مثلاً)، يتم التحكم بدرجة الحرارة الداخلية ضمن نطاق ضيق نسبياً بواسطة النظام الآلي. وعلى أي حال، هناك اختلاف في تأثير الكتلة الحرارية على استهلاك الطاقة للتبريد في هذين النوعين للأبنية.

كما تكون الأبنية السكنية عادة «skin dominated»، ويكون توليد الحرارة الداخلية، من الأجهزة المطبخية، وغيرها، صغيراً مقارنة مع شحنة التبريد الناتجة عن اكتساب الحرارة من خلال الغلاف. أما في الأبنية التجارية، من جهة أخرى، يكون توليد الحرارة الداخلية بالإضاءة، الحواسيب، والمعدات المكتبية الأخرى، كبيراً جداً.

وعلاوة على ذلك، فإن للأبنية السكنية غالباً مساحة أرضية كبيرة جداً نسبة إلى مساحة الغلاف، ولهذا تكون «core dominated».

**الأبنية السكنية:**

تتولد الشحنة الساعية للتبريد في الأبنية السكنية بشكل رئيسي من تدفق الحرارة عبر الغلاف، والتي ينبغي على النظام الآلي أن يكيفها، وتتولد إلى حد أقل أيضاً عن الاكتساب الشمسي من خلال النوافذ. ويمكن أن يتأثر النموذج الساعي لشحنة التبريد بشكل كبير بالكتلة الحرارية للبناء، وبشكل خاص في الأبنية السكنية التي يكون فيها توليد الحرارة الداخلية صغيراً.

كما أن لدرجات تدفق الحرارة الساعية من خلال الجدران ذات التكييفات المختلفة نماذجاً مختلفة في الأبنية منخفضة الكثافة والأبنية عالية الكثافة. ففي بناء عالي الكثافة، يتبع تدفق الحرارة من الأسطح الداخلية لعناصر الغلاف إلى الهواء الداخلي، والذي يولد شحنة التبريد «الخارجية»، نماذج درجة حرارة الهواء-الشمس على الأسطح الخارجية عن قرب. كما يتبع الاكتساب الشمسي المباشر من خلال النوافذ أيضاً نموذجاً مشابهاً. وبشكل عام، ففي بناء بغلاف منخفض الكثافة، سيكون لشحنة التبريد النهارية الناتجة مدىً كبير، مما يعني شحنة تبريد بذروة عالية واستهلاك للطاقة بذروة عالية من قبل النظام الآلي. وتحدث الذروة في مثل هذه الأبنية عادة في الساعات المبكرة لفترة ما بعد الظهيرة.

كما يمكن لبناء بقيمة TTC عالية، من جهة أخرى، أن يقلل مدى شحنة التبريد

إلى حد كبير وأن يؤجل الذروة لعدة ساعات، أي حتى فترة المساء. وقد يؤدي إخماد الذروة إلى انخفاض هام في حجم نظام التبريد. وعلاوة على ذلك، فربما يتم تأجيل الذروة إلى أن تنخفض درجة الحرارة الخارجية بشكل كافٍ بحيث يمكن استبدال التبريد الآلي بالتهوية الطبيعية.

**الأبنية التجارية (المكتبية):**

لايتم استخدام معظم الأبنية التجارية أثناء ساعات الليل. حيث يكون توليد الحرارة الداخلية عادة أكبر من تدفق الحرارة عبر الغلاف ويركز أيضاً على الأغلب أثناء ساعات النهار. كما يكون للأبنية التجارية غالباً نوافذ كبيرة الحجم نسبياً لتأمين الإضاءة النهارية، ولكن هذه النوافذ تعمل أيضاً على زيادة توليد الحرارة الداخلية. وبالتالي، تكون شحنة التبريد، لكل واحدة من مساحة الأرضية، أعلى بكثير منها في الأبنية السكنية المكيفة بالهواء.

كما يكون احتمال خفض الكتلة الحرارية في هذه الأبنية لشحنة التبريد أو تعديل نموذجها (خفض الذروة) عادة صغيراً، على الرغم من استحالة تحقيق مثل هذا الأثر. وبغية تحقيقه، تظهر الحاجة لتطبيق تفاصيل خاصة جداً للتصميم، حيث ستمكن البناء من تخزين كمية كبيرة من الحرارة في الكتلة أثناء ساعات النهار، مع تأرجح صغير جداً في درجة الحرارة، وكذلك تمكنه من التخلص من تلك الحرارة أثناء الليل عن طريق التهوية الليلية.

وبالإمكان تأمين الكتلة العالية المطلوبة في الأبنية التجارية عن طريق أرضيات من الاسمنت المقوى، حيث يتم تركيز معظم الكتلة. فلو تم كشف الأسقف للحيز الداخلي، باستطاعتها امتصاص الحرارة المتولدة ضمن الحيز. وفي الليل بالإمكان «دفع» الحرارة المخزونة خارجاً عن طريق تهوية الحيز آلياً وبالتالي تبريد الكتلة.

ولتمكين التدفق السلبي للحرارة داخل وخارج الكتلة، لابد من تجنب «الأسقف الزائفة/المنخفضة false/dropped». وعلى أي حال، تطبق هذه الأسقف الزائفة

غالباً لتأمين حيز للقنوات، الأنابيب، الأسلاك، والخ، بالإضافة إلى تخفيف الضجيج في استخدام الأسقف الصوتية. ويتجلى الحل في التصميم في تأمين حيز الخدمة فوق أرضيات الاسمنت، عن طريق أرضيات «زائفة» ترفع حوالي ٠,٥ م (١,٦٤ ft) فوق أرضيات البنية. ولقد تم تطبيق مثل هذا التصميم فعلياً بنجاح في بناءين مكتبيين كبيرين في جوهانزبيرغ Johannesburg، في إفريقيا الجنوبية.

### الأبنية المتمتعة بتدفئة تقليدية (في الشتاء):

إن تأثير القدرة الحرارية على استخدام الطاقة من أجل التدفئة في الأبنية المدفأة بأنظمة تقليدية أصغر بكثير من أثرها على استخدام الطاقة للتبريد في الأبنية المكيفة بالهواء. فهو يعتمد إلى حد ما على نطاق درجة الحرارة والمدة الزمنية التي تحتاجها التدفئة في الشتاء.

وفي الأماكن التي يكون فيها الشتاء بارداً، فإننا بحاجة للتدفئة بشكل مستمر ولايكون للقدرة الحرارية أي تأثير هام على استخدام الطاقة. ومن جهة أخرى، ففي الأماكن التي يكون فيها الشتاء لطيفاً (معتدلاً) وتظهر الحاجة للحرارة على الأغلب أثناء ساعات المساء فقط، يمكن أن تحد القدرة الحرارية العالية من استخدام الطاقة للتدفئة، وبشكل خاص تخفض ذروة شحنة التدفئة وحجم نظام التدفئة.

### الأبنية المدفأة عن طريق الطاقة الشمسية بالاكتساب المباشر أو المبردة عن طريق التهوية الليلية:

باعتبار الطاقة الشمسية التي تتخلل عبر النوافذ مصدراً هاماً للتدفئة (أبنية الاكتساب الشمسي السلبي المباشر)، تعد القدرة الحرارية العالية هامة جداً للاستخدام الفعال للطاقة الشمسية. فعندما لاتكون كتلة البناء كافية، ولايكون هناك توزيع فعال لتلك الكتلة حول الحيز المدفأ، فقد ترتفع درجة حرارة ذلك البناء بإفراط غالباً في ساعات منتصف النهار، مما يجعل من الضروري تهوية البناء أو حجب النوافذ، وهكذا يتم الحد من استخدام الطاقة الشمسية المباشرة. كما قد

يبرد ذلك البناء أيضاً بسرعة كبيرة في ساعات المساء ولهذا يحتاج إلى التدفئة أثناء الليل عندما يبقى البناء عالي الكثافة بدرجات حرارة مريحة طوال الليل.

وتعبر القدرة الحرارية النهارية (DHC) كما عرفناها سابقاً في هذا الفصل عن الأثر الكمي للكتلة في أبنية الاكتساب الشمسي المباشر. حيث تنسب القدرة الحرارية الفعالة المطلوبة إلى حجم «الزجاج الشمسي»: أي النوافذ والمناطق الزجاجية الأخرى المواجهة لخط الاستواء (جنوباً في نصف الكرة الشمالي). ففي بناء ذو اكتساب شمسي مباشر بقيمة عالية لـ DHC يمكن للجدران امتصاص الطاقة الشمسية المتخللة بسرعة أكبر وارتفاع أقل لدرجة الحرارة. ومن جهة أخرى، فعندما تكون قيمة DHC منخفضة (مما يعني مقدار صغير للكتلة أو مساحة سطحية مكشوفة صغيرة)، تتم تدفئة الأسطح والهواء الداخلي بسرعة حتى مع مقدار صغير من الإشعاع الشمسي المتخلل.

كما تعتمد قيمة DHC للكتلة الحرارية غالباً بشكل كامل على خاصيات وسماكة الطبقة المحيطة مباشرة بالحيز الذي تتخلله الشمس. إذ تحدث خاصيات الطبقات البعيدة عن السطح الداخلي أثراً صغيراً على DHC. وهنا يظهر الاختلاف الرئيس بين DHC × TTC، والتي تتأثر بخاصيات جميع طبقات الغلاف.

ويمكن توضيح الاختلاف بين DHC × TTC بالمثال التالي: حيث سيكون لطبقة إسمنتية لجدار معزول خارجياً بطبقة بوليسترين قيمة عالية لكل من DHC × TTC. وسوف تؤدي إضافة طبقة من العزل إلى الجانب الداخلي للاسمنت إلى زيادة قيمة TTC للجدار، ولو قليلاً. بينما لاتؤدي إلى خفض فعالية الجدار المكيف في إخماد التأرجح الداخلي في الأبنية غير المتمتعة بالتهوية.

وعلى أي حال، فسوف تخفض إضافة العزل الداخلي قيمة DHC للجدار لتصل إلى قيمة لاأهمية لها، باعتبار أن DHC تتحدد تقريباً بشكل كامل بواسطة خاصيات الطبقة المكشوفة للحيز الداخلي. كما سيمنع العزل الداخلي امتصاص الطاقة

الشمسية في طبقة الكتلة الواقعة خلفه. ولذلك لايعد مثل هذا الجدار ملائماً لتخزين الطاقة الشمسية. (وسنناقش موضوع أبنية الاكتساب الشمسي السلبي بتفصيل أكبر في الفصل الرابع).

وتظهر حالة مشابهة في الأبنية التي تتم تهويتها مساءً، فيما يتعلق بتجميع وخزن الطاقة الباردة أثناء الليل واستخدام الطاقة الباردة المخزونة أثناء ساعات النهار التالية. وفي هذه الحالة أيضاً، تعتبر القيمة العالية لـ DHC هامة جداً للخزن الفعال للطاقة الليلية الباردة وإطلاقها أثناء ساعات النهار التالية. وسنناقش هذا الموضوع بالتفصيل في الفصل الخامس.

**الأبنية المكيفة بالهواء والمشغولة فقط جزء من اليوم:**

في الأبنية المدفئة تقليدياً و/أو المكيفة بالهواء والتي يتم شغلها خلال جزء من اليوم، كالمدارس والمكاتب المتنوعة، قد تكون القدرة الحرارية العالية عائقاً وتزيد فعلياً من استهلاك الطاقة.

ففي الصيف، يستخدم جزء من طاقة التبريد لتبريد الكتلة في البناء. وعندما تنتهي ساعات الإقامة، تبقى الكتلة باردة، ولكن دون تأثير نافع، بحيث يتم عملياً «هدر» الطاقة الممددة بالتبريد. أما في الشتاء، يحدث نموذج مشابه لهدر الطاقة في تدفئة الكتلة. وفي صباح أيام فصل الربيع قد تكون الكتلة باردة جداً وربما يستهلك البناء عالي الكثافة طاقة أكبر للتدفئة مما قد يحتاج إليه بناء خفيف الوزن للتدفئة.

# ٤

# أنظمة التدفئة الشمسية السلبية

**مقدمة:**

يبحث هذا الفصل في ميزات الأداء للعديد من أنظمة التدفئة الشمسية السلبية للأبنية، وعوامل التصميم الرئيسة التي تؤثر على أدائها، وفوائدها النسبية والمشكلات الرئيسة المرتبطة بها، بالإضافة إلى قابليتها للتطبيق على مختلف أنواع المباني والأقاليم المناخية. كما يؤكد على مسائل التصميم المعماري المرتبط بأنظمة التدفئة الشمسية السلبية المختلفة وعلى المشكلات التي قد تواجه عندما تطبق التدفئة الشمسية السلبية في الأقاليم التي يكون فيها فصل الصيف حاراً.

وأنظمة التدفئة الشمسية السلبية التي نناقشها في هذا الفصل هي:

- الاكتساب المباشر.
- جدران الخزن المجمع (Trombe)
- حلقات نقل الحرارة بالحمل للجدران.
- نظام بارا Barra
- أنواع متعددة للفسحات الشمسية.

كما نجد المزيد من المعلومات حول أداء الأبنية المتمتعة بتدفئة شمسية سلبية في منشورات للباحثين العاملين في المختبر الوطني لوس ألاموس-Los Alamos Nation al Laboratory وهي: Balcomb،1982،Balcomb et al.1980 ١٩٨٣، بالإضافة إلى ما يقدمه كتاب Mazria ١٩٧٩.

## الاكتساب المباشر:

في أبنية الاكتساب المباشر، تدخل الشمس مباشرة إلى الحيز المسكون من خلال النوافذ التقليدية، المناور، والخ..... وتحصل الغرف الواقعة في الجانب الشمالي من البناء على الشمس من خلال المناور المتوضعة فوق مستوى السطح لتلك الغرف إلى الجانب الجنوبي. كما تعمل كتلة بنية البناء بحد ذاتها (أي في الأرضية، الطبقات الداخلية للجدران الخارجية، القواطع الداخلية، السطح، والأثاث)، كمادة خزن حراري ضرورية لتخزن الطاقة الشمسية المفرطة أثناء الساعات التي تشرق فيها الشمس وإطلاقها ثانية أثناء الليل. وقد يصطدم الإشعاع بعناصر الكتلة بشكل مباشر أو بعد انعكاسه من الأسطح الأخرى المشعة بشكل مباشر (الشكل ٤-١).

وفي العديد من المباني، لاتتعرض الغرف جميعها لأشعة الشمس المباشرة من خلال النوافذ أو المناور. ففي تلك الأبنية، يكون دوران الهواء الفعال بين الغرف «المشمسة» والأماكن «غير المشمسة» هاماً جداً لتحقيق جزء شمسي عالي عن طريق الاكتساب المباشر. وفي بعض الظروف، قد يكون الدوران المعزز باستخدام المراوح، من خلال فتحات الجدران بين الغرف، القنوات، أو الأسقف الزائفة (الكاذبة)، ضروري جداً لضمان توزيع كاف للحرارة، على الرغم من أن فروق درجة الحرارة الصغيرة نسبياً للهواء الداخلي تحد من فاعلية انتشار الحرارة عن طريق الحمل.

كما أن العوامل الرئيسة المؤثرة في أداء أبنية الاكتساب المباشر هي:

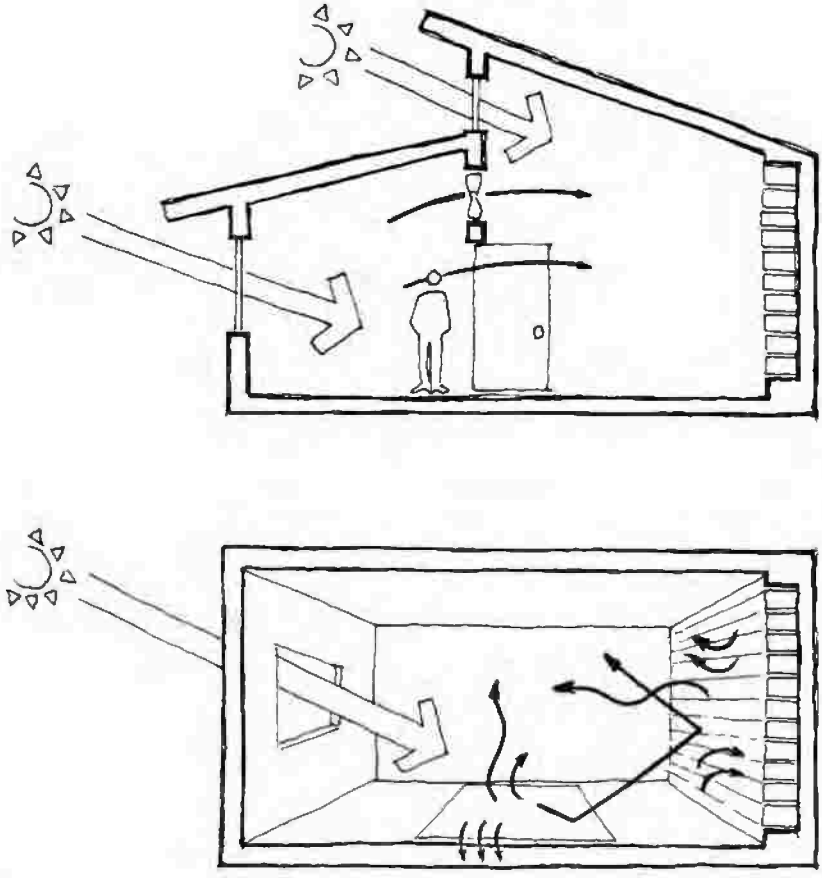
- تكييف وموقع الزجاج الشمسي.
- حجم ونوع الزجاج الشمسي
- مقدار الكتلة وتفاصيل التصميم المتوفرة للتخزين الحراري.
- معامل خسارة الحرارة للبناء ككل.
- ترتيب الأثاث في الغرف «المشمسة».

- الارتباط الحراري بين الغرف «المشمسة» و «غير المشمسة».
- خيارات التحكم باكتساب وخسارة الحرارة من خلال الزجاج.

## حجم ونوع الزجاج الشمسي:

تؤدي زيادة مساحة الزجاج الشمسي في أبنية الاكتساب الشمسي إلى زيادة تناسبية للاكتساب الشمسي أثناء ساعات النهار ولكنها تزيد أيضاً من خسارة الحرارة من خلال المساحة الزجاجية أثناء ساعات الليل في فصل الشتاء، بالإضافة إلى اكتساب الحرارة (غير المحتسب) أثناء الصيف. وتعتمد النسبة بين هذه التأثيرات الحرارية المختلفة على الشدة النسبية لفصلي الصيف والشتاء في إقليم مفترض، بالإضافة إلى خواص وتفاصيل الزجاج الشمسي، أي: النشر الشمسي والتوصيل الحراري للزجاج، توفر العزل الليلي أثناء الشتاء، التعرض الشمسي وتوفر العزل النهاري (إضافة إلى التظليل) أثناء الصيف. ولقد ناقشنا الخواص الحرارية لأنواع الزجاج المتنوعة في الفصل الثاني.

فعندما تتجاوز درجة الحرارة الداخلية الحد الأعلى للراحة، أو عندما تنشأ مشكلات عدم الارتياح والوهج من التعرض المباشر لأشعة الشمس، لابد عندها من منع الاكتساب المباشر عن طريق تظليل النوافذ أو «دفعه للخارج» عن طريق إخراج أو تنفيس الحرارة الزائدة. وكذلك فمن غير الممكن خزن الحرارة الزائدة لعدة أيام مشمسة متتالية لأكثر من حوالي يومين غائمين، وذلك مع القدرة الحالية للمواد التقليدية على الخزن الحراري.

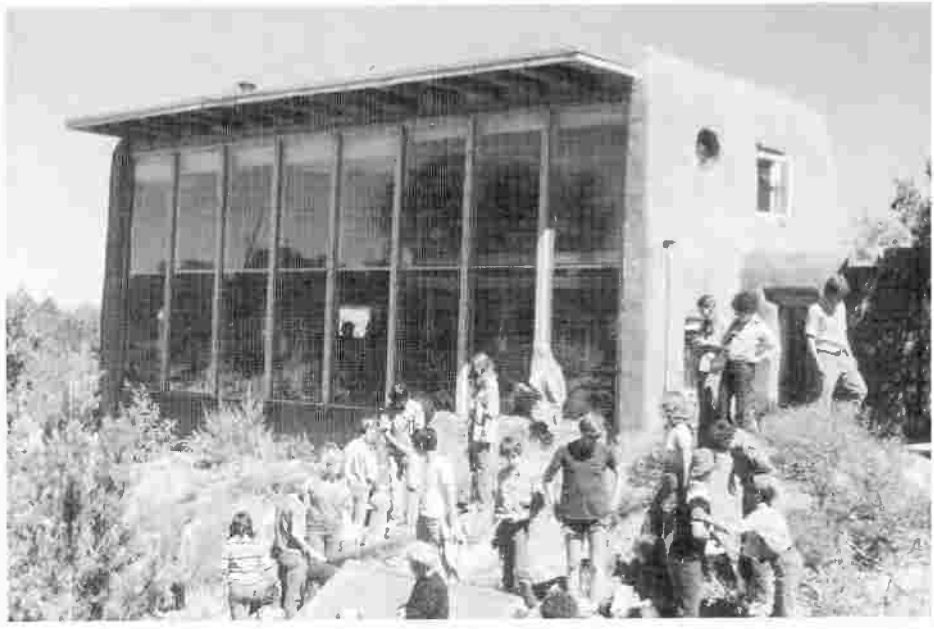


الشكل ٤-١. نظام الاكتساب الشمسي المباشر

ويحث غالباً على تكبير مساحة الزجاج المواجه للشمس بقدر ما يسمح تصميم البناء، بغية الحصول على إطلالة كبيرة على مشهد جذاب و/أو زيادة الطاقة الشمسية المتخللة أثناء فصل التدفئة إلى أكبر حد.

ويقدم الشكل ٤-٢ مثالاً عن بناء الاكتساب الشمسي المباشر مع مساحة زجاجية مضاعفة لكامل الجدار الجنوبي، في سانتا في Santa Fe، نيو مكسيكو، New Mexico. إذ تم تصميمه من قبل د.رايت Wright. D وهو أول من امتلكه. حيث تم بناء الجدران من الطين وعزلها بالستيروفوم Styrofoam (نوع من مواد العزل) بسماكة ٥ سم (٢)، وتغطيتها بطينة plaster من الاسمنت/ الستيروفوم. وصنعت أبواب النوافذ الداخلية من صفائح وألواح الستيروفوم لتقديم العزل الليلي في الشتاء والحد من التدفئة الشمسية المفرطة في الصيف.

أولاً، تعد النوافذ الاعتيادية، وإن كانت بطبقتين زجاجيتين، عادة النقطة الحرارية الأضعف في مغلف البناء، مسببة خسارة شديدة للحرارة في الليل.



الشكل ٤-٢. بناء رايت في سانتا في، نيو مكسيكو. الاكتساب المباشر مع وضع الزجاج على كامل الجدار الجنوبي وعزله بعزل داخلي قابل للطي.

فمن مفهوم استخدام الطاقة الشمسية، تتجلى فوائد زيادة حجم الزجاج في تقليل العائدات returns، بينما نسبب خسارة الحرارة في الليل من خلال الزجاج إلى مساحة الزجاج. وقد نصل إلى الهدف عندما تسبب الزيادة في حجم الصقل خسارة نهائية للحرارة، إلاإذا تم تجهيز الزجاج بعزل ليلي متحرك. ويمكن حل هذه القضية جزئياً باستخدام أنواع جديدة من الزجاج التقليدي المضاعف. ولقد تحدثنا عن ذلك النوع من الزجاج في الفصل الثاني.

وعلى أي حال، فمع التظليل الفعال، قد ترفع المساحة الكبيرة جداً للزجاج الشمسي درجة الحرارة الداخلية في الأيام المشمسة إلى حد كبير بحيث قد تتجاوز أحوال الراحة في فصل الشتاء. وقد تكون المشكلة أكثر خطورة أثناء فصول الربيع، الصيف، والخريف، وبشكل خاص في الأقاليم التي يكون فيها الصيف حاراً، وهناك أثرين سلبيين آخرين للمساحات الكبيرة جداً للزجاج.

ثانياً، قد يكون جزاء اكتساب الحرارة بالتوصيل صيفاً من خلال المساحة الكبيرة للزجاج الشمسي في الأقاليم التي يكون صيفها حاراً، وإن تم تظليل الزجاج، أعظم من فوائده في فصل الشتاء. فقد يسبب في بعض الحالات الحاجة لإدخال تكييف هوائي آلي في الأماكن التي لاتحتاج في الأحوال العادية إلى تبريد آلي. ويمكن تخفيف هذا الجزاء بواسطة الواقيات الشمسية المتحركة المعزولة والتي تقي البناء من التدفئة النهارية المفرطة بينما تمكن من الحصول على تبريد سريع في ساعات المساء من خلال النوافذ الكبيرة القابلة للفتح، واكتساب الحرارة بالتوصيل من خلال الزجاج.

وبأخذ جميع هذه العوامل العديدة بالحسبان وأهميتها النسبية للسكان، فليس هناك ثمة طريقة حسابية واحدة بسيطة للتوصل إلى الحجم الملائم للزجاج، ولكن قد تشكل «القواعد الأساسية» التالية من ملخص لتجربة خاصة بالأبنية السكنية المشغولة والتي تستخدم الاكتساب المباشر (Givoni ١٩٨٩) مرشداً للتصميم.

ففي الأقاليم التي يكون صيفها حاراً، ينبغي أن تكون مساحة الزجاج «الشمسي» حوالي ١٠-١٥٪ من مساحة الأرضية الكلية المدفأة. وقد تصل إلى ٣٠٪ في «الغرف

المشمسة»، فيما لو توفر تخزين حراري كافي لمنع: (أ) الارتفاع السريع لدرجة الحرارة والتدفئة المفرطة محلياً و(ب) صعوبات الوهج، وبهت الأنسجة، الخ.... كما لابد من إتاحة نشر الحرارة الفعال بالحمل بين الغرف «المشمسة» و «غير المشمسة» عن طريق جريان الهواء الطبيعي من خلال الفتحات الداخلية أو بالتهوية المعززة.

أما في الأقاليم الباردة، قد تكون المساحة الأكبر للزجاج الشمسي (مثلاً ٢٠٪ من المساحة الكلية للأرضية المدفأة) مقبولة، وباستخدام الزجاج (المضاعف) الذي يتمتع بمقاومة حرارية عالية، في الأقاليم الباردة جداً، يتم تأمين عزل ليلي إضافي فعال.

## أنواع الزجاج الشمسي:

في كتيب التصميم الشمسي السلبي Passive Solar Design Handbook (Jones et al) ١٩٨٢. الأشكال G-٥٦-G51)، عرضت حساسية الأداء لتأثير نوع الزجاج على جزء الحفظ الشمسي (Solar Saving Fraction SSF). بينما كانت الاختلافات الأخرى في المناخ (لتسعة مدن في الولايات المتحدة، متراوحاً من جو لطيف، إلى شديد جداً)، نسبة مجمع الشحنة Load Collector Ratio (LRC ـ أي النسبة بين مساحة الزجاج الشمسي ومعامل خسارة الحرارة النهائية للبناء)، وتوفر العزل الليلي.

ففي المناخ اللطيف، كان تحسن الأداء من الزجاج ذو الطبقة الواحدة إلى الزجاج المؤلف من طبقتين أو ثلاث طبقات صغيراً جداً، إلافي الحالة التي كان فيها LRC صغيراً ـ فقد كان فعالاً. أما في الأقاليم التي يكون فيها الشتاء بارداً فقد كان هناك تحسن ملحوظ في أداء الزجاج المضاعف مقارنة مع الزجاج المؤلف من طبقة واحدة.

## تكييف وموقع الزجاج الشمسي:

يجب أن يواجه الزجاج الشمسي، بالتعريف، شمس الشتاء. وعلى أي حال، ففي الواقع لايكون التكييف «الدقيق» ممكناً دائماً، إذ يحدد الزجاج الشمسي لأنظمة الاكتساب المباشر غالباً بتكييف البناء. وقد لاتؤثر الانحرافات التي تصل إلى حوالي

٣٠ درجة عن الشمال والجنوب الحقيقي، في نصف الكرة الشمالي والجنوبي، على التوالي، بشكل كبير على الإشعاع الشمسي الساقط على الزجاج. وعلاوة على ذلك، ففي بعض الأقاليم يكون الضباب مألوفاً في صباح أيام الشتاء وفي مثل هذه الأماكن قد يفضل تكييف الاتجاه نحو الشمال ـ الشمال الغربي أو الجنوبي ـ الجنوب الغربي (في نصف الكرة الشمالي والجنوبي، على التوالي).

وفي حالات عديدة، على أي حال، لايكون لغرف عديدة في البناء أو للبناء ككل جدار مواجه للجنوب. وعندما يكون البناء بارتفاع طابق واحد، يمكن استخدام المناور أو monitors السطح المواجهة للجنوب كعناصر شمسية للاكتساب المباشر. ويبين الشكل ٤-٣ منزل Stokebrand المصمم من قبل ادوارد مازريا Edward Mazria، في ألبوكويركو Albuquerque، نيو مكسيكو New Mexico، والذي يستخدم العناصر الشمسية تلك.

وتتجلى الفائدة الرئيسة لأنظمة الاكتساب المباشر في إمكانية جمع مقادير هامة من الطاقة الشمسية في الغرف المدفئة من خلال عناصر يمكن إيجادها في البناء بأي حالة ـ وهي النوافذ، المناور، وmonitors السطح (أي مناور بزجاج عمودي) المواجهة للشمس. إذ تمكن المناور وmonitors السطح من توفير اكتساب مباشر حتى للغرف التي لاتعرض نوافذها الاعتيادية للشمس. وهكذا يمكن تطبيق الاكتساب المباشر في الأبنية المؤلفة من طابق واحد والمستطيلة من الجنوب إلى الشمال والأبنية التي لاتتمتع بتعرض لأشعة الشمس المباشرة.

كما يمكن أن تؤمن المناور والنوافذ المواجهة للشمس حرارة شمسية لجزء البناء المواجه للشمس فقط، لكن دون أية قيود تحكم عدد الطوابق، وتعد الـ monitors السطحية قابلة للتطبيق فقط في الأبنية المؤلفة من طابق واحد أو للطابق العلوي للأبنية المؤلفة من عدة طوابق. فهي تؤمن الطاقة الشمسية في نقاط بعيدة عن جدار البناء المواجه للشمس، بغض النظر عن تكييف البناء بحد ذاته. وتكون أقل حساسية أيضاً من النوافذ لاحتمال حجب ضوء الشمس بسبب الأشجار والمباني المجاورة.

وعلى أي حال، فمن المنظور الحراري، قد تكون هذه الـ monitors السطحية أقل فعالية من النوافذ. إذ قام الكاتب (انظر Givoni ١٩٨٩) بمقارنة الحرارة الاحتياطية (المساعدة) المقاسة في الشتاء وشحنة التبريد في الصيف، في العديد من الأبنية في الولايات المتحدة، مع monitors سطحية في برنامج DoE للمراقبة (Godron et al.١٩٨٦). فكانت الحرارة الاحتياطية أعلى وشحنة التبريد أدنى من القيم التي تنبأ بها نموذج التشبيه DoE-٢. ووجد توافق أفضل في الأبنية ذات الاكتساب المباشر التقليدي. ويمكن تفسير هذا التفاوت باكتساب أقل للحرارة الشمسية الفعالة، أو خسارة أعلى للحرارة من خلال monitors السطح، عند مقارنتها بالنوافذ التقليدية.

## الكتلة الحرارية في أبنية الاكتساب المباشر:

تقم الكتلة الحرارية بتخزين الطاقة من ساعات شروق الشمس، لإطلاقها ثانية أثناء الليل. ومن منظور الدورة اليومية، تكون سماكات محددة فقط لعناصر الخزن مفيدة. وبالتالي، فبالنسبة لعناصر الخزن الثخينة، لاتكون الكتلة «الاسمية» الكلية في أحد الأبنية فعالة لاختزان الطاقة الشمسية. وفي الوقت الحاضر، تعد المواد الماسونية (الحجرية) كالاسمنت، الآجر، الخ، والتي تخدم الأغراض الإنشائية بشكل جيد، المواد الأكثر استخداماً والتي تفوق فائدتها كلفتها. كما تعد القدرة الحرارية إحدى وظائف الكتلة والحرارة الخاصة. ونظراً لتشابه الحرارة الخاصة لجميع المواد الماسونية المحتملة للشحنة load-bearing تقريباً (الاسمنت، الآجر، الحجر، وغيرها) ـ أي بحدود (Bth/ib.F 0,24) j/kg. °C860 Wh/kg. C0,24 ـ تنسب القدرة الحرارية الاسمية بشكل هام إلى الكثافة والحجم الكلي للمادة. أما المواد غير المحتملة للشحنة Non-loading bearing، كالمواد المصنعة من المنتجات الخشبية، والتي تكون حرارتها الخاصة أعلى ـ أي حوالي (Bth/ib.F 0,4) j/kg. °C1440 Wh/ kg. °C0,4) وكثافتها أقل، فتكون قدرتها الحرارية الاسمية عادة أقل.

الشكل ٤-٣ منزل Stokebrand المصمم من قبل ادوارد مازريا في Albuquerque، New Mexico. حيث تستخدم المناور كعناصر شمسية رئيسية للاكتساب المباشر.

وعلى أي حال، تعتمد فعالية عنصر الخزن الحراري على درجة امتصاص الحرارة داخله وإطلاقها فيما بعد إلى الهواء الداخلي. وتعتمد هذه الدرجة على المساحة السطحية لعنصر الخزن المعرضة للحيز الداخلي بالإضافة إلى قابلية التوصيل الحراري التي تتمتع بها المادة. فكلما كانت قابلية التوصيل أعلى والمساحة السطحية أكبر لعنصر الخزن كلما كان الثابت الزمني للخزن الحراري أعظم.

وفي الأبنية ذات البنية خفيفة الوزن، كأبنية جدار الدعامة الشائعة في الولايات المتحدة، يمكن تأمين الخزن الحراري أيضاً عن طريق العناصر المعمارية الداخلية في المساحة المجاورة للجدار الشمسي بمساحة سطحية كبيرة ومبنى بمواد عالية الكتلة. ويبين الشكل ٤-٤ مثال عن مثل هذا الحل حيث نرى سلم مستدير، صمم من قبل آن دانغ Anne Dunning في منزل ايفانز Evans قرب سانتا في Santa Fe،

نيو مكسيكو. حيث بني السلم، والحواجز الثخينة على جانبيه، من الطين، مؤمناً مساحة كبيرة مكشوفة لمادة عالية الكتلة داخل بناء بمغلف خفيف الوزن تقريباً.

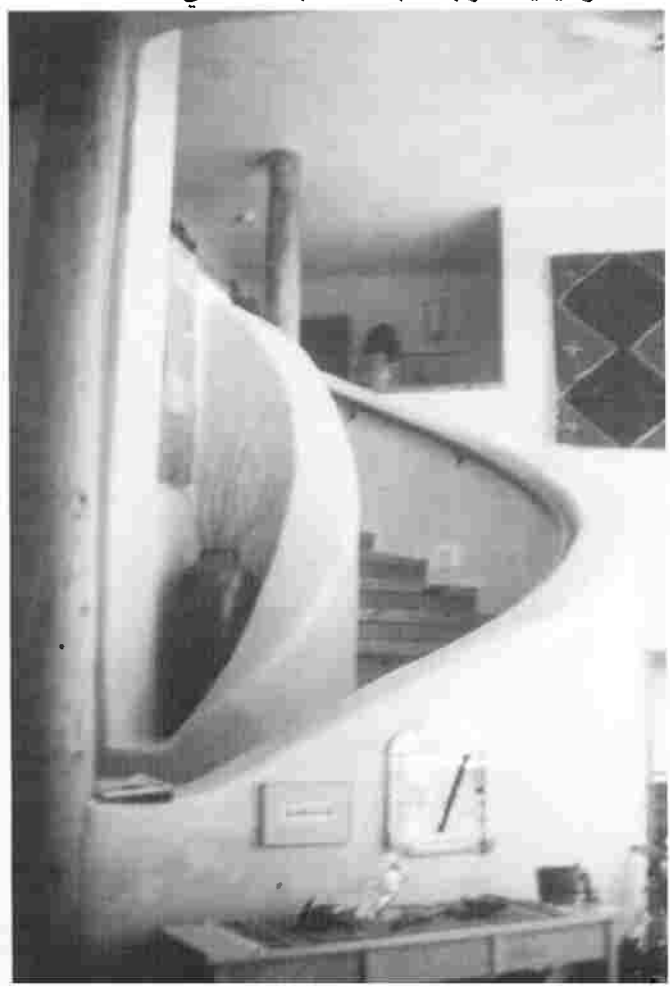
وبأخذ النموذج غير المعرف لتدفق الإشعاع الشمسي المتخلل بالحمل والإشعاع إلى عناصر الخزن بالحسبان، تكون المساحة السطحية الدنيا لعناصر الخزن الحراري أكبر بست مرات من الزجاج الشمسي، بغض النظر عن سماكته.

ويعبر عن القدرة الكلية الفعالة للحيز «الشمسي» على خزن الطاقة الشمسية الزائدة أثناء ساعات النهار وإطلاقها للحيز الداخلي أثناء الليل بالقدرة الحرارية النهارية (DHC) (انظر الفصل الثالث). فبالنسبة لحجم مفترض للزجاج الشمسي، سيتحسن أداء البناء مع زيادة في القدرة الحرارية النهارية حتى حد مفترض. كما ينبغي ربط مقدار DHC المطلوبة بمقدار الإشعاع الشمسي المتخلل في أيام الصحو. ويعني ذلك في موقع مفترض وجوب ربط المقدار الأدنى لخزن الحرارة بحجم الزجاج الشمسي أو العكس بالعكس.

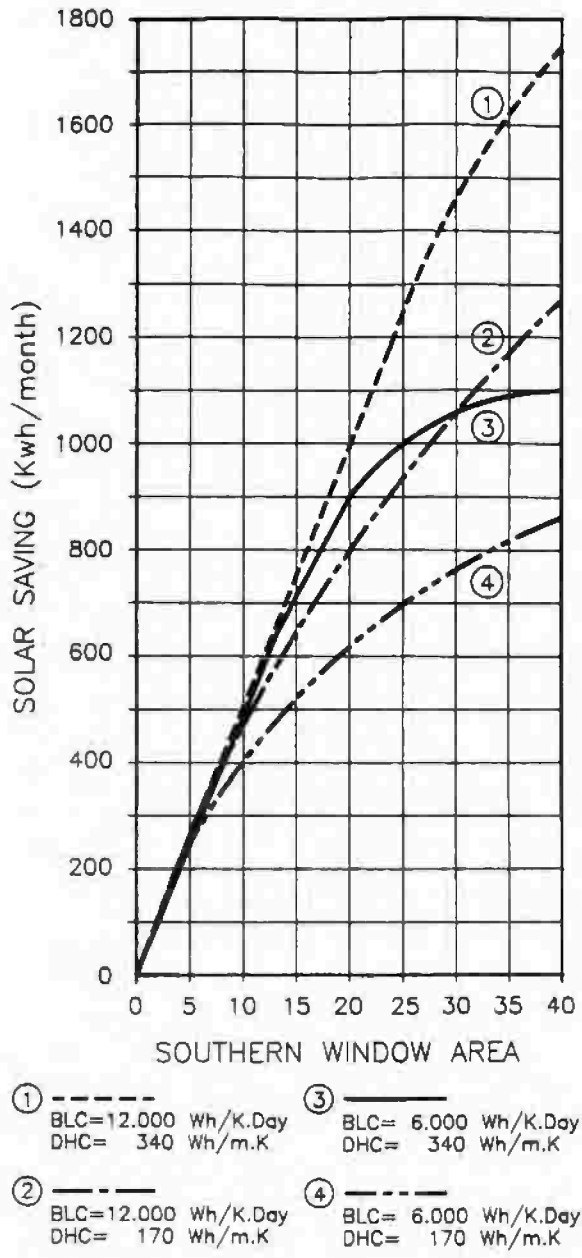
**مساحة الزجاج الشمسي ومعامل خسارة الحرارة للبناء:**

يزداد حفظ الطاقة الفعلي من نظام شمسي سلبي بحجم مفترض، «الحفظ الشمسي»، بوصول البناء إلى قيمة أعلى لـ UA (W/K) أو لمعامل خسارة البناء، BLC (W/h/k, Dey) اسمياً مع عزل أقل لمغلفه. كما تزيد القدرة الحرارية الأعلى، لمساحة مفترضة للزجاج الشمسي ومستوى مفترض للقدرة الحرارية، «الحفظ الشمسي». ويوضح الشكل ٤-٥ هذا الأمر، حيث تم احتساب الحفظ الشمسي بنموذج معمم طور من قبل الكاتب، (انظر Givoni ١٩٨٣، ١٩٨٧)، كوظيفة لمساحة الزجاج الشمسي، في أبنية مع مستويين لـ BLC (٦٠٠٠ و١٢٠٠٠ Wh/K.Day) ومستويين لـ DHC (٣٤٠ و١٧٠ Wh/m2.K). وبسبب هذا التفاعل هو أنه أثناء الفترات التي قد تتم فيها تدفئة البناء الذي يتمتع بعزل أفضل بإفراط (يجب إيقاف تزويد الطاقة أو إخراج الحرارة الزائدة)، قد لايزال البناء الذي يتمتع بعزل أقل يستخدم الطاقة الشمسية.

وقد تظهر حسابات مرتكزة على معايير الطاقة وحدها فوائد مكلفة في زيادات «الحفظ الشمسي» للمساحات الزجاجية التي تبلغ حوالي ٥٠٪ من مساحة الأرضية. وبشكل خاص في الأبنية غير المعزولة جيداً. ولكن قد تسبب الطاقة الشمسية المفرطة عدم ارتياح حراري أيام الصحو، وتدفئة مفرطة في الصيف. كما ستفاقم أيضاً المشكلات الوظيفية المرتبطة بالاكتساب الشمسي.



الشكل ٤-٤. سلم مستدير داخلي في منزل Evans قرب سانتا في، نيو مكسيكو. حيث تؤمن الحواجز الطينية الثخينة على جانبيه خزناً حرارياً في بناء اكتساب مباشر خفيف الوزن. بإذن وترخيص آن دانغ.




الشكل ٤-٥. أثر مساحة الزجاج الشمسي على جزء الحفظ الحراري، والذي يرتبط بمعامل الحرارة للبناء والقدرة الحرارية النهارية.

### فعاليات الأرضيات والأسطح الأخرى في الخزن الحراري:

في أبنية الاكتساب الشمسي المباشر من خلال النوافذ، تعد الأرضيات غالباً عنصر البناء الجلي الذي يؤمن الخزن الحراري الرئيس، باعتباره حسب الافتراض العنصر الأكثر تعرضاً للإشعاع الشمسي المباشر. وعلى أي حال، ففي الواقع قد تكون القدرة الحرارية الفعالة للأرضيات أقل بكثير من القدرة المطالب بها والمفترضة في الحساب. ويعود السبب لتغطية الأثاث والسجاد في الأبنية المسكونة لجزء كبير من مساحة الأرضية. وفي منازل عديدة، تشكل مساحة الأرضية المعرضة للإشعاع الشمسي المتخلل فقط جزءاً صغيراً من المساحة الإجمالية للأرضية. وبالتالي، لابد من الاهتمام بالأسطح الأخرى المحيطة بالحيز الداخلي، والتي قد تتلقى الطاقة الشمسية التي تعكسها الأسطح المشعة، لقدرتها على الخزن الحراري.

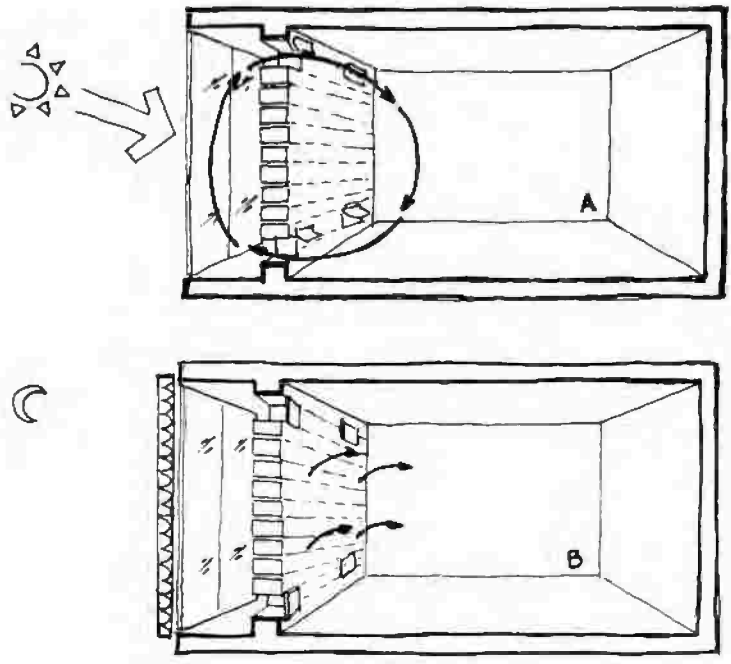
كما يجب أخذ هذه المسألة بعين الاعتبار عند تقييم أثر ألوان السطح الداخلي على القدرة الكلية على خزن الإشعاع الشمسي فعندما يعكس جزء كبير من الطاقة المتخللة، ويشع ويحمل ثانية من الأثاث والسجاد، قد لايكون للون المساحات الأرضية المكشوفة أهمية تذكر في تحديد قدرة الامتصاص الشمسي الفعالة للحيز الداخلي.

كما أن معظم الأبنية في الولايات المتحدة، وفي بلدان أخرى أيضاً، تكون ذات بنية منخفضة الكثافة بهيكل خشبي. ففي الولايات المتحدة تفرش الأبنية ذات الأرضيات الاسمنتية عادة بالسجاد. وقد تشكل عندئذ القدرة الحرارية المحددة الفعالة عاملاً رئيساً يحد من استخدام الطاقة الشمسية لتدفئة الحيز عن طريق الاكتساب المباشر.

## جدران الخزن المجمع (Trombe)

تجمع جدران الخزن المجمع في عنصر بناء واحد وظائف جمع الطاقة الشمسية، الخزن الحراري، ونشر الحرارة إلى الحيز الداخلي. ولقد تم تطوير هذا النظام أولاً من قبل فيليكس ترومب Felix Trombe وجاكوز مايكل Jacques Michel في

أودييللو Odeillo، فرنسا، ويشار إليه عموماً كـ «جدار Trombe أو «Trombe-Michel». ويتألف هذا الجدار في أبسط شكل له من زجاج موضوع أمام جدار ضخم مواجه للشمس يتمتع بقابلية توصيل الحرارة (كالاسمنت الكثيف، مع فجوة هوائية في وسطه). (انظر الشكل ٤-٦). ويطلى السطح الخارجي للجدار بلون غامق (أو يغطى «بسطح اختياري» (كما نوضح أدناه) وذلك لتعزيز امتصاص الإشعاع.




الشكل ٤-٦ نظام جدار Trombe

ويتم امتصاص الإشعاع الشمسي الذي يتخلل الزجاج في الجدار الضخم، مؤدياً إلى رفع درجة حرارة السطح الخارجي ودرجة حرارة الهواء الذي يحتك به. ويحدد جزء الحرارة الممتصة والتي تنشر عبر الجدار إلى الحيز الداخلي بقابلية التوصيل الحراري لمادة وسماكة الجدار، بالإضافة إلى التوصيل الحراري المجتمع للفسحة الهوائية والزجاج. ويدفئ الحيز الداخلي بواسطة الإشعاع الموجي الطويل والحمل الطبيعي من الوجه الداخلي الدافئ للجدار.

وعند توفر فتحات التهوية، في أسفل وأعلى الجدار، يرتفع الهواء الدافئ، في الفسحة الهوائية بين السطح الغامق والزجاج، ويتدفق إلى البناء من خلال فتحات التهوية العلوية. كما يتدفق هواء الغرفة عبر فتحات التهوية السفلية إلى الفسحة الهوائية. وهكذا يتشكل جريان الهواء thermosyphonic، ناقلاً الحرارة إلى الغرفة عن طريق الحمل، بالإضافة إلى نقل الحرارة عن طريق التوصيل.

والفوائد الرئيسة لجدران Trombe هي:

- تكون درجات الحرارة الداخلية أكثر استقراراً منها في معظم الأنظمة السلبية الأخرى.

- لايتخلل ضوء الشمس الشديد، والمشكلات الوظيفية المرتبطة به، إلى الحيز المسكون.

- يكون الإدخال غير رخيص نسبياً حيث تكون البنية ماسونية (حجرية) اسمياً، أو بالنسبة للأبنية التي يعاد إنشاءها بجدران خارجية ضخمة غير معزولة.

إلاأن هناك بعض العيوب والعوائق العملية لهذا النظام تتجلى في:

- قد تفوق مشكلات التدفئة المفرطة صيفاً فوائده في الشتاء في الأقاليم التي يكون الشتاء فيها لطيفاً والصيف حاراً، إلاإذا توفر تظليل فعال، من الإشعاع المنعكس من الأرض أيضاً.

- في مناخ تطول فيه الفترات الغائمة الباردة، ودون عزل المتحرك كافي، قد يسبب الجدار انخفاض لدرجات لحرارة. ويتم تخفيف هذه المشكلة عن طريق استخدام سطح اختياري، أو منعها عن طريق الاستخدام الفعال للعزل المتحرك أو العزل الشفاف.

- يمكن الشعور بالتدفئة الفعالة فقط بعمق أكبر بحوالي مرة أو مرة ونصف من

وزن الجدار، وهذا يعود إلى العمق المحدود لتيارات الهواء التي تنقل الحرارة بالحمل الطبيعي وتدفق الحرارة الإشعاعية المتناقص من الجدار المدفأ المواجه للشمس.

● في الأبنية المؤلفة من عدة طوابق قد تستلزم مشكلات صيانة الزجاج وجود تدبير الشرفات. إذ يمكن لهذه الشرفات، على أي حال، أن تعمل كمتدليات over-hangs تظليل للزجاج أدناها.

إذا توفرت النوافذ إلى جانب الجدار أو داخله، يمكن أن يؤمن الاكتساب المباشر الضوء والتدفئة السريعة للحيز في الصباح، بينما لاتزال الكتلة باردة.

ويبين الشكل ٤-٧ بناء استخدم فيه جدار Trombe، مكمل باكتساب مباشر من خلال النوافذ الجنوبية، الشرقية، والغربية، وهو بناء بروس هان Bruce Hunn في لوس ألاموس Los Alamos، نيو مكسيكو. وهو بعرض ٣,٦م (١١,٨») وبارتفاع ٨م (٢٦,٢») مؤلف من طابقين. وقد بني من قوالب الاسمنت المملوءة بسماكة ٣٠سم (١) ومجهز بزجاج مضاعف.

**عوامل التصميم المؤثرة على أداء جدران** Trombe:

أ- المواد: كما ذكرنا سابقاً، تجمع جدران الخزن الحراري وظائف جمع، نقل، وخزن الطاقة الشمسية في عنصر واحد. فمن أجل نقل الطاقة من خلال الجدار، لابد من استخدام مواد ذات توصيل حراري عالي نسبياً. وهذا يعني عملياً عادة الاسمنت الصب قوالب الاسمنت الصلبة، والآجر الكثيف. أما المواد ذات قابلية التوصيل الأدنى كالطين والاسمنت خفيف الوزن، فسوف تؤدي على فعالية أقل.

ب - سماكة الجدار: لكل ١٠سم (٢) من الاسمنت، هناك تباطؤ حوالي ٢-٢,٥ ساعة بين قمة الامتصاص الشمسي، وتوصيل الحرارة إلى الداخل. أما بالنسبة لحفظ الطاقة الإجمالي، فسيكون لسماكة الجدار تأثير بسيط، لكنها قد تشكل

عاملاً هاماً بالنسبة لتأرجح درجات الحرارة الداخلية ووضع الراحة. فمع سماكة جدار أقل من حوالي ٣٠سم (٦) سيكون تأرجح درجة حرارة الداخل شديداً. ومع زيادة السماكة فوق حوالي ٤٠سم (٨)، فستؤدي إلى كلفة أعلى بينما تحدث أثراً صغيراً فقط على التأرجح الداخلي. ومن هذا المنظور، وفي تحديد زمن قمة التدفئة أيضاً، تكون السماكة الأفضل للاسمنت في الأبنية السكنية ٣٠-٤٠ سم (٦-٨") تقريباً.

الشكل ٤-٧. بناء بروس هان في لوس ألاموس، نيو مكسيكو. بجدار Trombe مجهز بزجاج مضاعف ومكمل بالاكتساب الشمسي من خلال النوافذ الجنوبية، الشرقية، والغربية.

ت - اللون وخاصيات السطح: كلما كان امتصاص الطاقة الشمسية للسطح الخارجي للجدار أعلى، كلما كان اكتساب الحرارة من خلال النظام أعلى. ولاتعد الأسطح السوداء غالباً مقبولة معمارياً. ولذلك فالخيار الأكثر شيوعاً هو الطلاء

الغامق. وعلى أي حال تكون خسارة الحرارة نحو الخارج عن طريق إعادة الإشعاع من السطح المطلي الغامق عالية جداً أيضاً نتيجة قوة الإشعاع العالية التي تتمتع بها مواد الطلاء الشائعة بالنسبة للإشعاع الموجي الطويل. ويمكن الحد من خسارة الحرارة عن طريق إضافة سطح «اختياري» للجدار، على شكل غشاء معدني يتمتع بقوة امتصاص شمسي عالية وقوة إشعاع منخفضة. ويتطلب تطبيق الغشاء الاختياري لجدار اسمنتي سطح ناعم جداً من الاسمنت. ولابد من الاهتمام بهذه الناحية أثناء صب الاسمنت.

وعند مقارنته بجدار بسطح اعتيادي غامق اللون، سيكون أداء التدفئة للجدار ذو السطح الاختياري أعلى في الشتاء. أما في الأقاليم التي يكون صيفها حاراً، على أي حال، فقد يفاقم وضع السطح الاختياري مشكلة التدفئة المفرطة (انظر أدناه). وبالنسبة لحاجة مفترضة للطاقة، ستكون المساحة الأصغر ضرورية لجدار بسطح اختياري، مسهلة أيضاً التظليل و/أو العزل في فصل الصيف.

### أثر فتحات التهوية على الأداء:

بفعل الأحوال الأمثل للجريان، يتم ٣٠٪ من التدفق الإجمالي للطاقة في الجدران «المهواة» المبنية من الاسمنت بسماكة ٣٠سم (٦")، عن طريق الحمل و٧٠٪ عن طريق التوصيل. ويظهر الجدار المهوى درجة حرارة أدنى في الفسحة الهوائية وبالتالي خسارة أقل للحرارة من خلال الزجاج. ولذلك تكون الفعالية الكلية أعلى بحوالي ١٠٪ في أنظمة الجدران المهواة مقارنة بالجدران غير المهواة. وعلى أي حال، لاحظ أنه إذا لم تغلق فتحات التهوية بشكل فعال ليلاً، ينشأ جريان هوائي عكسي، يؤدي إلى خفض فعالية الجدران المهواة دون مستوى الجدران غير المهواة.

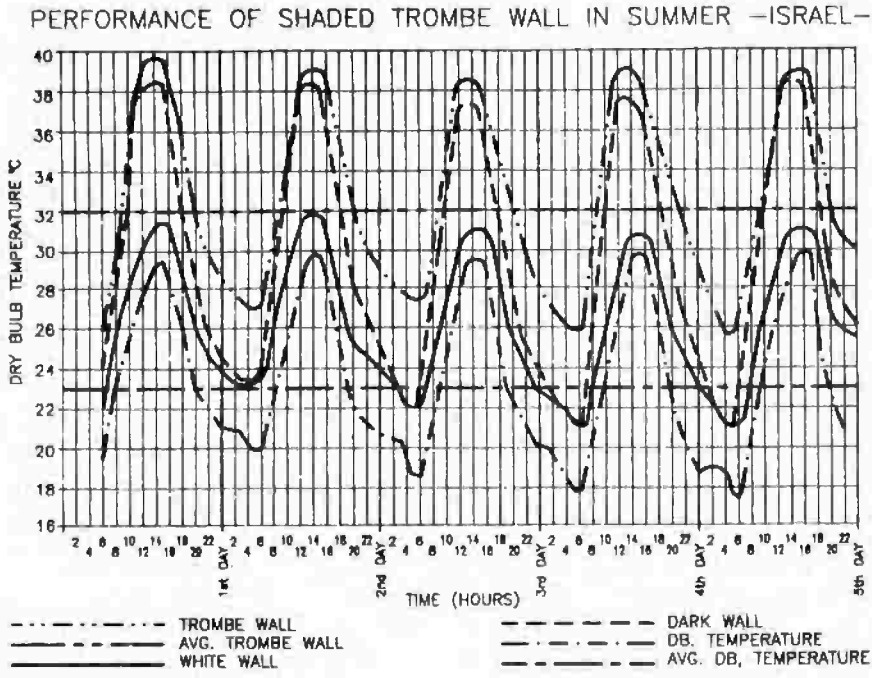
وتظهر مشكلة رئيسية مرتبطة بفتحات التهوية وهي تراكم الغبار على السطح الداخلي للزجاج وعلى السطح غامق اللون الذي يمتص الإشعاع. ونظراً لاستحالة تنظيف الغبار، فقد يضعف الأداء في النهاية، بالإضافة إلى تأثير على المنظر

الجمالي. ولقد أظهرت تجربة أجريت في أبنية أدخلت فيها فتحات التهوية بأن الحاجة للفتحات قد تتعارض مع إمكانيات وضع قطع الأثاث في الغرف بجانب الفتحات المتدنية. وكنتيجة ذلك، تم بناء أبنية جديدة في سانتا في، نيو مكسيكو، بجدران للخزن المجمع، وبجدران غير مهواة غالباً.

**عزل وتظليل جدران** Trombe :

يكون جزء الطاقة الشمسية الممتصة في جدار Trombe والذي يتم نشره فعلياً إلى الحيز الداخلي للبناء (فعالية التدفئة) أعلى بشكل هام صيفاً منه في الشتاء. بسبب درجات الانحراف النسبية المختلفة للحرارة من السطح الماص إلى الداخل والخارج. وبينما لاتختلف درجة الحرارة الداخلية كثيراً في الصيف والشتاء، إلاأن درجة الحرارة الخارجية تكون بالطبع أعلى بكثير في الصيف، بحيث يتدفق جزء أكبر من الطاقة الشمسية الممتصة إلى الداخل. ويزيد هذا العامل من احتمال حدوث التدفئة المفرطة صيفاً، على الرغم من المقدار الأصغر للإشعاع الشمسي الساقط على الجدار بسبب الارتفاع الأعلى للشمس. وحتى الجدار المحجوب من الإشعاع المباشر باستخدام متدلية قد يمتص مقدار كاف من الإشعاع المنشور والمنعكس ليسبب ارتفاعاً هاماً لدرجة حرارة سطحه فوق مستوى المحيط.

ولقد تم توضيح هذه النقطة في دراسة أجراها طالب في UCLA في إسرائيل إذ أظهر (Moses ١٩٨٣) ارتفاع درجة حرارة السطح الخارجي لجدار خزن مجمع، حتى عندما تم تظليل الجدار والرصيف أمامه بشكل كامل لحجبه عن الإشعاع المباشر بمتدلية عميقة، فوق الهواء المحيط بحدود $8^{o}C$ ($14,4^{o}F$) (انظر الشكل ٤-٨). ولقد نتج هذا الارتفاع في درجة الحرارة عن الإشعاع الشمسي المنشور، والإشعاع الشمسي المنعكس بشكل أساسي. أما في الصيف، فقد تسبب الجدران الشمسية الزجاجية ضغطاً حرارياً داخلياً شديداً، وكذلك في فصلي الربيع والخريف.




الشكل ٤-٨. نماذج درجات حرارة السطح التي تم قياسها لجدار Trombe مظلل، وجدار غامق غير زجاجي، وجدار أبيض اللون

ولقد صمم هذا البناء من قبل Carlos de Rosa. ولذلك يقترح (Givoni ١٩٨٩) بأنه في الأقاليم التي يكون صيفها حاراً مشمساً، يرغب بضمان تظليل كامل للجدار، ليس فقط من أشعة الشمس المباشرة بل أيضاً م الإشعاع المنعكس من الأرض. ويمكن تحقيق ذلك فقط باستخدام التظليل العمودي الخارجي (ظلال roll-able مثلاً). ويبين الشكل ٤-٩ مثال عن هذا التطبيق يتجلى ببناء صمم من قبل كارلوس دي روزا Carlos de Rosa في ميندوزا Mendoza، الأرجنتين. إذ يحتوي الجدار الشمسي على مجموعة من جدران Trombe والاكتساب المباشر.

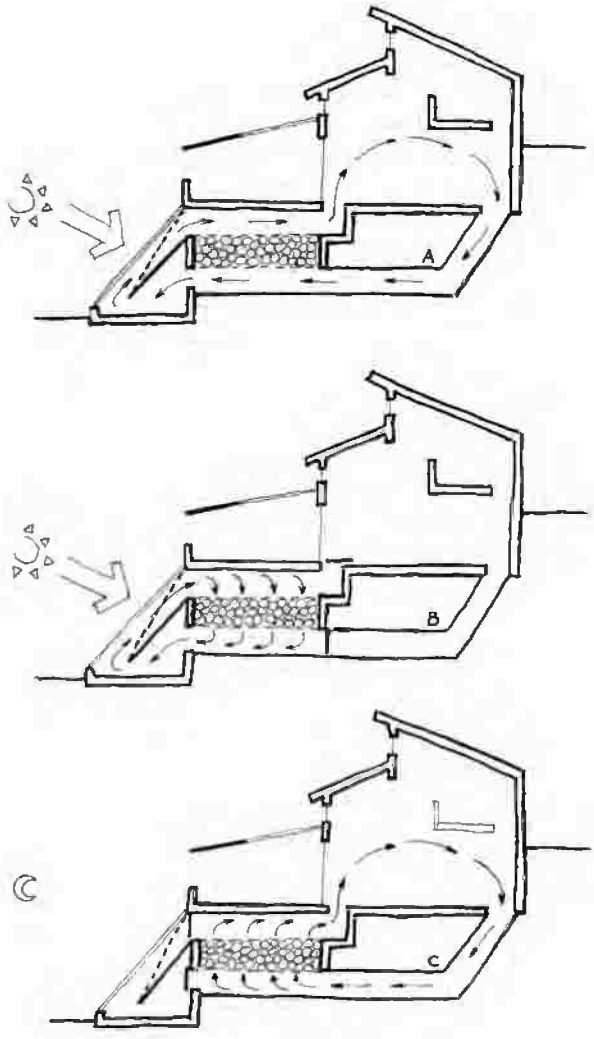
وفي الأقاليم التي يكون فصل الشتاء فيها لطيفاً (معدل درجات حرارة حوالي 5°C (14 °F) في منتصف الشتاء) قد يبرر العزل الليلي بمفهوم التدفئة الشمسية.

وعلى أي حال، ففي الأقاليم التي يكون صيفها مشمساً ومعدل درجة الحرارة أثناء النهار في منتصف الصيف أعلى من 27°C (80,6 °F) يمكن أن يسبب ارتفاع درجة حرارة السطح الخارجي للجدار الزجاجي غامق اللون تدفئة مفرطة خطيرة للحيز الداخلي، وقد تظهر عندئذ الرغبة بوجود عزل متحرك. إذ سيحسن مثل هذا العزل أيضاً أداء التدفئة في فصل الشتاء أيضاً.

الشكل ٤-٩. جدار شمسي مظلل بمصراع (باب نافذة) ملتف rollable خارجي في ميندوزا، الأرجنتين. إذ يحتوي الجدار على مجموعة من جدران Trombe والاكتساب المباشر.

عملياً، ليس من السهل تجهيز جدار Trombe تقليدي بعزل متحرك أو حتى تهوية الفسحة الهوائية صيفاً. إذ تسبب تهوية ذلك الحيز تراكم الغبار على الجانب الداخلي للزجاج والسطح الغامق للجدار، مؤدياً إلى خفض الناقلية والامتصاص الشمسي الفعال. ويكون العزل المتحرك خارج الزجاج عرضة لقوى الريح وقد يكون مكلفاً بهدف الحفاظ على استمراره.

ويتجلى الحل الوحيد لتجاوز تلك المشكلات بتصميم حيز يسهل الوصول إليه، بعرض ٦٠سم (١٢")، بين الجدار والزجاج. إذ يمكن من إدخال «ستارة» خاصة في الصيف وعازلة في الشتاء و rollable داخل الحيز المحمي، والذي يسهل الوصول إليه بهدف الصيانة، تنظيف الغبار، وما إلى ذلك. ولابد من أخذ التكلفة الإضافية لهذا الحيز الإضافي بالحسبان عند تقرير تفصيل الصميم هذا.




الشكل ٤-١٠. حلقات نقل الحرارة بالحمل: نظام Steve Baer

## حلقات نقل الحرارة بالحمل: نظام ستيف بيير

## Steve Baer

لقد قام ستيف بيير، من البوكويركو، نيو مكسيكو، بتطوير نظام تدفئة شمسية سلبية صمم خصيصاً للأبنية الواقعة على منحدر شاهق مواجه للجنوب (انظر الشكل ٤-١٠أ، ب، ج، في الصفحة السابقة). إذ يوضع مجمع شمسي للتدفئة ووعاء صخري للخزن تحت مستوى أرضية البناء. بحيث يتبع جريان الهواء ثلاثة طرق مختلفة، وفقاً لحاجات تدفئة الحيز وتوفر الإشعاع الشمسي. ويقاد جريان الهواء بشكل كامل بالفروق في درجة الحرارة.

الشكل ٤-١١. منزل بي. دافيس Davis.P في Albuquerque، في نيو مكسيكو، والذي يستخدم نظام حلقات نقل الحرارة بالحمل لـ Steve Baer.

فأثناء ساعات لانهار المشمسة، يرتفع الهواء الدافئ عبر المجمع ويدخل الحيز فوق صندوق الخزن الصخري. فإذا كان المنزل بحاجة للتدفئة أثناء النهار، يرتفع الهواء متدفقاً من خلال لوائح الأرضيات registers إلى داخل المنزل، ويعود إلى المجمع من خلال إحدى القنوات (يبين الشكل ٤-١٠أ حالة التدفئة أثناء النهار). وإذا

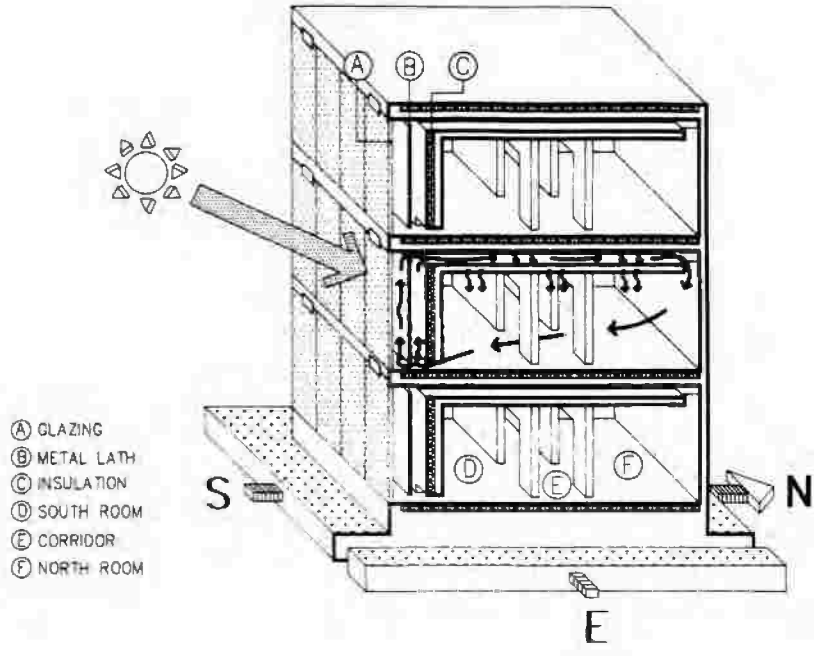
لم يكن المنزل بحاجة للتدفئة، يندفع الهواء متدفقاً للأسفل من خلال الصخور، مسبباً خسارته للحرارة وتدفئته للصخور، ومن ثم يعود إلى قاعدة المجمع (يبين الشكل ٤-١٠ب حالة الشحن charging). وفي الليل، تغلق قطعة الفلين damper بين المجمع وصندوق الخزن لمنع عودة التدفق. ويرتفع الهواء الدافئ من الصندوق الصخري عبر لوائح الأرضية إلى المنزل ومن ثم يعود إلى قاعدة الصندوق الصخري (يبين الشكل ٤-١٠ج حالة التدفئة الليلية).

كما يبين الشكل ٤-١١ منزل بي.دافيس Davis. P في Albuquerque، نيو مكسيكو، والذي يستخدم فيه نظام حلقات نقل الحرارة بالحمل لستيف بيير. ولقد بنيت العديد من الأبنية الشمسية السلبية تستخدم تصميماً مشابهاً في سانتافي من قبل المهندس المعماري مارك جونز Mark Jones. ويبين الشكل ٤-١٢ إحداها.

الشكل ٤-١٢. بناء في سانتافي، نيو مكسيكو، يستخدم حلقات نقل الحرارة بالحمل صممه المهندس المعماري مارك جونز.

## نظام بارا Barra جدار شمسي زجاجي، معزول، والخزن في سقف إسمنتي:

لقـد طور هذا النظام (الشكل ٤-١٣) من قـبل هورازيوبارا Horazio Barra (١٩٨٧) في إيطاليا. حيث يتم عزل الجدار الجنوبي وتفصيله لمجمع شمسي thermosyphonic لتدفئة الهواء. إذ يتدفق الهواء الساخن الذي ينشأ من جدار المجمع المعزول أفقياً، بين القنوات المطوقة داخل سقف إسمنتي، والذي يعمل أيضاً كمخزن حراري. ويتم خزن جزء من الحرارة في السقف الإسمنتي بينما يخرج الهواء الدافئ الساكن من القنوات في النهاية الشمالية للبناء. وهكذا يدفئ الهواء الغرف البعيدة أولاً قبل أن يتدفق عائداً عبر حيز البناء إلى المدخل على الجزء السفلي لجدار التجميع المواجه للشمس. ويضمن هذا توزيع جيد لدرجة الحرارة عبر المنزل ككل، وهو أفضل ممل تحققه الأنظمة الشمسية السلبية الأخرى.




الشكل ٤-١٣ نظام بارا Barra

ونظراً لكون جريان الهواء في الجدار الشمسي thermosyphonic، تنسب درجة الجريان تقريبياً إلى الجذر التربيعي لارتفاع درجة حرارة الهواء في المجمع في المستوى الداخلي والذي يعتمد بالتالي على شدة الإشعاع الشمسي الساقط. وكنتيجة ذلك، تكون درجة حرارة الهواء عالية نسبياً حتى في الأحوال التي يكون فيها الإشعاع منخفضاً (والجريان منخفض). وتساعد درجة الحرارة العالية للهواء المتدفق عبر قنوات السقف الإسمنتي، مجتمعة مع المساحة السطحية الكبيرة للقنوات، في الحفاظ على نقل عالي للحرارة من الهواء إلى الاسمنت. وتضمن حقيقة كون عناصر الخزن داخلية تماماً، في مغلف الجدران المعزولة، فعالية خزن عالية للسقف الإسمنتي.

مع الجدران المعزولة المحيطة بحيز المعيشة، يتم الحد من خسارة الحرارة غير المرغوبة في الشتاء (وبشكل خاص أثناء الفترات الغائمة الطويلة) واكتساب الحرارة في الصيف إلى أصغر حد مقارنة مع جدار الخزن الحراري.

ويمكن تطبيق نظام Barra في الأبنية المؤلفة من عدة طوابق، وحتى في الأبنية التي لاتواجه فيها الغرف الرئيسة الشمس. فعندما تكون الواجهة «الأمامية» للبناء غير مواجهة للشمس، بالإمكان استخدام الواجهة الجنوبية الخلفية أو الجانبية كجدار مجمع يسبب نقل جزء رئيسي من الحرارة الشمسية أولاً عن طريق الحمل إلى الجانب الشمالي للبناء. ويبين الشكل ٤-١٤ مسكن مؤلف من طابقين لـ .Eng Constantini في إيطاليا، والذي يستخدم هذا النظام.

كما يعتمد الأداء الحراري لهذا النظام بشكل كبير على تيارات الحمل الطبيعي الرقيقة. إذ لابد من احتكاك الهواء المتحرك بمساحة سطحية كبيرة قدر الإمكان للجدار المجمع وكتلة السقف، دون إبطائه إلى حد كبير. وينبغي أن تؤثر هذه الاعتبارات على تفصيل القنوات الهوائية.

الشكل ٤-١٤. منزل Eng. Constantini في إيطاليا، يستخدم نظام بارا Barra الشمسي السلبي.

ونظراً لدرجات حرارته العملية المرتفعة نسبياً، أي أعلى منها في الأنظمة السلبية الأخرى، يكون الجدار «المجمع» عرضة لضغوط حرارية كبيرة. وهنا لايجب استخدام عزل البوليستيرين، إذ قد تتجاوز درجات حرارة المجمع درجة انصهاره. ويمكن الحد من خسارة الحرارة بالتسلل من الفسحة الهوائية بوضع مانع تسرب جيد مقاوم للحرارة حول الزجاج، ولكن يجب السماح بحدوث حركات حرارية أساسية، وبشكل خاص حول الزجاج.

فإذا لم تجرى بعض القياسات لمنع ذلك، سينعكس اتجاه جريان الهواء ليلاً، أي عندما يكون المجمع أبرد من الحيز الداخلي. ويعد الصمام damper الأولي الخلفي الأوتوماتيكي أداة بسيطة لمنع انعكاس الحمل هذا. ففي أبسط شكل له، قد يتألف

من غطاء خفيف من شريط بلاستيكي، يعمل كصمام وحيد الاتجاه. وقد يحدث مثل هذا على الجانب الداخلي للزجاج في الليالي الباردة إذا لم تحكم قطع الفلين dam-pers تماماً.

## الفسحات الشمسية:

الفسحات الشمسية (وتدعى أيضاً البيوت الزجاجية في المملكة المتحدة) فسحات متوسطة مستخدمة بين الحيز الداخلي والخارجي للبناء. وبفصلها عن الفسحات الرئيسة في البناء، قد يكون التأرجح الأعظم لدرجة الحرارة والذي ينتج عن المساحة الكبيرة للزجاج مقبولاً في الفسحات الشمسية، أكثر مما يمكن السماح به في فسحات الاكتساب المباشر. كما تسهم الفسحات الشمسية في الارتياح الحراري في الفسحات الرئيسة وفي خيارات النشاطات في السكن بثلاث طرق:

أ- فهي تمنع التعرض الشديد للفسحات الرئيسة، فتحد بذلك من التقلب المحتمل لدرجة الحرارة، الوهج، وبهت الأنسجة والأثاث، والذي قد ينشأ عن الضوء الشديد للشمس في الداخل.

ب- تزيد من احتمال الجمع الحراري لواجهة مفترضة، إذ تسمح بمساحة كبيرة للزجاج أكبر مما هو مرغوب ومتبع في الاكتساب المباشر.

ت- يمكن أن تشكل مساحة الفسحة الشمسية بحد ذاتها حيز معيشة إضافي في الشتاء والفصول الانتقالية. فمع تدبير مناسب للتظليل والتهوية في الصيف، قد تكون الفسحات الشمسية بيئات محببة في معظم المناخات على مدار السنة (Mazria،Givoni 1989، ١٩٧٩).

وهناك منزل شهير جداً بفسحة هوائية امتلكه دوغلاس بالكومب Douglas Bal-comb في سانتافي، نيو مكسيكو. ويبين الشكل ٤-١٥ مشهد لهذا البناء. بينما يبين الشكل ٤-١٦ الحيز الداخلي للفسحة الشمسية.

الشكل ٤ – ١٥

فحتى في أيام الشتاء الغائمة، وعندما يرجح أن تكون درجة حرارة الفسحة الهوائية دون مستوى الراحة الداخلية وبذلك لاتكون قادرة على تأمين حرارة «إيجابية» للبناء خلفها، يمكن أن تكون درجة حرارة الهواء في الفسحة الشمسية أعلى بشكل هام من درجة حرارة الهواء المحيط. وبالتالي، يمكن الحد من خسارة الحرارة من الحيز الداخلي للبناء من خلال الجدار المشترك، مما يؤدي إلى حفظ الطاقة حتى عند عدم توفر التدفئة «الإيجابية» من الفسحة الشمسية.

ومن جهة أخرى، تعد الكلفة الكلية أعلى وفعالية جمع الطاقة لواحدة المساحة لزجاج الفسحة الشمسية أدنى مقارنة مع الاكتساب المباشر. وبالتالي، قد تكون فترة مردود الاستثمار في تشييدها أعلى بالنسبة لفسحة شمسية.

الشكل ٤-١٦. الحيز الداخلي للفسحة الشمسية في منزل Balcomb.

## أنواع وتشكيلات الفسحات الشمسية:

في تحديد الميزات الحرارية وتصميم البناء، نميز نوعين للفسحات الشمسية:

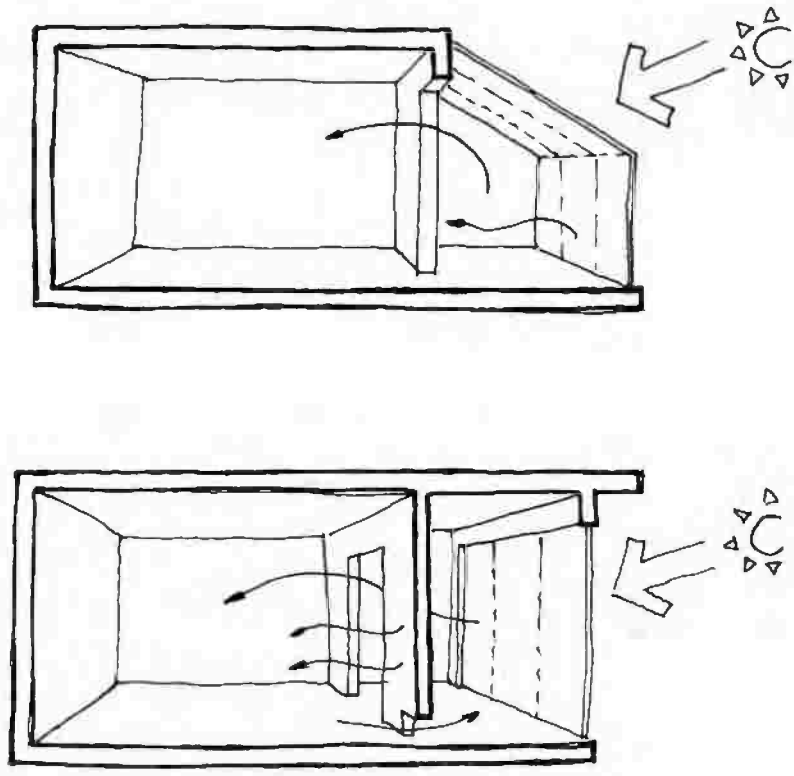
أ- البيوت الزجاجية المكيفة ـ سطح مائل زجاجي وفي بعض الأحيان جدران زجاجية مائلة أيضاً.

ب- الشرفات الشمسية ـ سطح معزول أفقي غير شفاف، حيث يكون الزجاج عمودياً فقط.

## البيوت الزجاجية المكيفة:

يقلل هذا النوع، مع زجاج علوي منحني أو مائل، والمبين في الجزء العلوي من الشكل ٤-١٧، من الإشعاع المنبعث إلى أدنى حد عندما يتلقى السطح أشعة الشمس

الشتوية في أواخر فصل الشتاء بزاوية أفضل. كما يزيد السطح الزجاجي للبيت الزجاجي المعدل من مساحة جمع الطاقة الشمسية الإجمالية للفسحة الشمسية بارتفاع وعرض مفترض. ومن جهة أخرى، يكون هذا النوع أيضاً عرضة لخسارة أكبر للحرارة في الشتاء أثناء الفترات الغائمة، وخصوصاً عن طريق الإشعاع الموجي الطويل من الجزء الأفقي للزجاج إلى سماء الليل. كما يعد السطح الزجاجي عرضة لاكتساب عالي جداً للحرارة الشمسية في الصيف. ولذلك، يكون للبيوت الزجاجية تأرجحات أكبر لدرجة الحرارة صيفاً وشتاءً من الشرفات الشمسية، ويكون احتمال حدوث التدفئة المفرطة أكبر في فصل الصيف.



الشكل ٤-١٧. نوعا الفسحة الشمسية: البيت الزجاجي المكيف والشرفة الشمسية.

### الشرفات الشمسية:

في هذا النوع من الفسحات الشمسية، والمبين في الجزء السفلي من الشكل ٤-١٧، يحد السطح المعزول غير الشفاف من احتمال حدوث التدفئة المفرطة والتأرجحات الكبيرة في درجة الحرارة النهارية والتي يسببها الزجاج الساخن بشدة. ويكون اكتساب الحرارة المحتمل في الشتاء أدنى منه في البيت الزجاجي، بينما تزداد إمكانيات التحكم، والاستخدام لمساحة الفسحة الشمسية على مدار السنة، وبشكل خاص في الأقاليم الحارة، بشكل كبير. ولذلك ينصح بهذا النوع في الأقاليم التي يكون فيها الصيف بمثابة مكافئ للشرفة الخارجية المظللة، مقدمة تظليلاً لجدار البناء الواقع خلف الفسحة الشمسية.

### علاقة البناء / الفسحة الشمسية:

يمكن أن يكون للفسحات الشمسية علاقات مختلفة مع «جزء» البناء، وتؤثر هذه العلاقات على الاندماج الحراري، المعماري، الوظيفي لجزء البناء ومساحات الفسحة الشمسية، كما هو مبين في الشكل ٤-١٨:

أ- متصلة: خارج خط الجدار.

ب- شبه مغلقة «شبه محاطة»: محاطة بالغرف من جانبين أو ثلاثة جوانب.

ت- داخلية: محاطة بالبناء من جميع الجهات (وتسمى أيضاً atria).

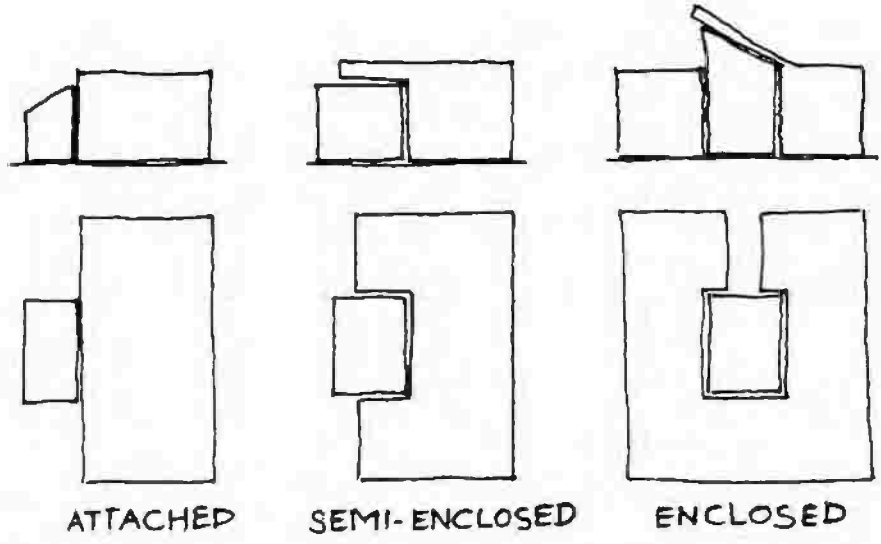
### الفسحات الشمسية المتصلة:

تشترك الفسحات الشمسية المتصلة فقط بجدار واحد مع بقية البناء. وهي تؤمن المرونة الأعظم، للتخطيط والتشييد، متضمنة retrofitting الشمسية للأبنية للموجودة.

وفي الأقاليم ذات توازن الطاقة الأفضل، تسمح أيضاً باستخدام الجدران الطرفية الزجاجية (الشرقية والغربية) للاستخدام الأعظمي لشمس الصباح و/أو

فترة ما بعد الظهيرة، بالرغم من وجوب عدم إغفال خطر التدفئة المفرطة صيفاً من خلال التخلل الشمسي عبر الجدران الطرفية.

وعندما تكون الجدران الطرفية وجزء من الزجاج الجنوبي قابلة للفتح، يمكن أن تتم التهوية المتقاطعة للفسحة الشمسية بشكل فعال، وبذلك يخفض احتمال حدوث التدفئة المفرطة صيفاً إلى أدنى حد. كما يمكن أن تؤمن فتحات الجدار الطرفي احتمال تهوية جيد للبناء الواقع خلف الفسحة الشمسية، وبشكل خاص عندما يكون اتجاه الريح شديد الانحدار بالنسبة للواجهات المواجهة للشمس. ومن جهة أخرى، ففي الأقاليم الباردة بخط عرض عالي، قد يكون للجدران الطرفية توازن سلبي للطاقة في الشتاء، ولذلك ينبغي عزلها بدلاً من صقلها بالزجاج.




الشكل ٤-١٨

كما تكون الفسحات الشمسية المتصلة، ذات المساحة السطحية الأكبر المكشوفة على الزجاج، عرضة لخسارة الحرارة الأعظم شتاءً، ومع الجدران ـ الطرفية الزجاجية الثانية (الشرقية والغربية)، تكون عرضة لاكتساب الحرارة الشمسية الأكبر في الصيف.

### الفسحات الشمسية شبه المغلقة:

في هذا الترتيب، توضع الفسحة الشمسية في داخل البناء. ويتم تقليل خسارة الحرارة عبر الجدران الطرفية إلى أدنى حد دون الحد من التعرض الشمسي، وبذلك تزيد من الفعالية الحرارية للفسحة الشمسية. وهناك تنوع أكبر من الوصلات المعمارية الممكنة بين الغرف المحيطة ومساحة الفسحة الشمسية أكثر منها في الفسحة الشمسية المتصلة. ولذلك، وبالنسبة لحجم مفترض للزجاج الشمسي، يتم تعزيز كل من فعالية الجمع ونقل الحرارة إلى الغرف المسكونة، مقارنة مع الفسحة الشمسية المتصلة.

### الفسحات الشمسية المغلقة (المحاطة) بشكل كامل:

ويشار إلى هذا النوع من الفسحات الشمسية أحياناً كردهة، ساحة المنزل، أو حتى «الفناء الشمسي». حيث تحاط الفسحة الشمسية بالغرف من جميع الجوانب، بحيث ينبغي أن يكون الزجاج الشمسي فوق مستوى السطح إلى الجانب المواجه للشمس من الفسحة الشمسية. ويحدد هذا العامل حجم الزجاج، ولكن يتم تعويض ذلك التحديد، لاحتمال اكتساب أدنى للحرارة، جزئياً بالفعالية الأعلى لتوزيع الحرارة في حيز المعيشة حول الفسحة الشمسية. ولهذا النوع تطبيق جلي في الأبنية ذات أشكال الخطة العميقة. وبوجود فتحات وتظليل مصمم بشكل مناسب، قد يستخدم هذا النوع أيضاً في فصل الصيف لتعزيز تهوية البناء الرئيس، بالسماح بجريان الريح إلى البناء فوق مستوى السطح، وعملها بالتالي على التقاط الريح.

### خيارات تصميم الجدار الواصل:

قد توصل الفسحة الشمسية بالبناء الرئيس بواسطة عدة أنواع للجدران. إذ يحمل كل منها أثراً مختلفاً على مقدار ودرجة نقل الحرارة إلى الأماكن الرئيسة وعلى الأحوال الحرارية والإضاءة الداخلية، بالإضافة إلى تأثيره على البيئة الحرارية

داخل الفسحة الشمسية ذاتها. وتشمل بعض أنواع الجدران الواصلة:

أ- جدار ضخم يتمتع بقابلية التوصيل الحراري.

ب - جدار Trombe «الداخلي» (جدار زجاجي هائل).

ت - جدار معزول بفتحات وصل كبيرة.

ث - جدار زجاجي ومعزول.

**الجدار الضخم الذي يتمتع بقابلية التوصيل الحراري:**

يمكن بناء هذا النوع من أي مادة حجرية تقليدية، وهو غالباً جزء مكمل لبنية البناء المحتملة للشحنة load-bearing. ونظراً لكونه غير زجاجي، تكون درجة حرارته السطحية أدنى بكثير من درجة حرارة جدار Trombe بفعل أحوال مشابهة للمحيط، وبالتالي يكون نقل الحرارة عن طريق التوصيل إلى الداخل أقل. وهكذا، لابد من تأمين فتحات كبيرة في الجدار، تؤدي إلى الغرف التي تحتاج للحرارة، بحيث يمكن أن يؤمن نقل الحرارة بالحمل أثناء النهار معظم التدفئة المطلوبة لهذه الغرفة. وبالنسبة لمساحة واحدة منه، يكون نقل الحرارة بالحمل أعلى بكثير من تدفقها بالتوصيل عبر الجدار. ويعتمد المقدار الفعلي لتدفق الحرارة بالحمل على حجم الباب والنوافذ نسبة إلى الجدار، وشكلها، وفيما إذا بقيت الفتحات مفتوحة فعلياً خلال الساعات المشمسة ومغلقة أثناء الليل. ففي الليل، تطلق معظم الحرارة من جدار غير زجاجي فعلياً إلى الفسحة الشمسية ذاتها ثابتة، مما يؤدي إلى خفض فعاليتها كمصدر للحرارة المفيدة للحيز الداخلي.

ولقد أظهرت تحليلات أجريت لتدفق الحرارة من الفسحة الشمسية إلى الغرف في منزل Balcomb (Jones et al ١٩٨٢.) بأن معظم الحرارة المتدفقة إلى الغرف في منزل طريق الحمل. ولقد عمل الجدار الضخم بشكل رئيسي كمخزن للحرارة للفسحة الشمسية ذاتها، معدلاً تأرجح درجة حرارتها.

### جدار Trombe الداخلي (جدار زجاجي ضخم):

يتم خلق جدار Trombe داخلي ضمن الفسحة الشمسية عن طريق وضع طبقة من الجص الصلب الشفاف أو نصف الشفاف فوق جدار ضخم يتمتع بقابلية التوصيل. وبينما تكون الطاقة الشمسية الواقعة على سطح الجدار أقل في حالة جدار Trombe معرض، قد تعوض مزايا حرارية أخرى عن ذلك. فعندما تكون درجة حرارة الفسحة الشمسية أعلى من درجة الحرارة الخارجية، في الليل وفي النهار، فهي تحد من خسارة الحرارة العالية لجدار Trombe المميز إلى الحيز الخارجي، فتساعد بذلك على الحصول على درجات حرارة أعلى للهواء منها في جدار Trombe في الفجوة بين الزجاج والجدار. إذ يزيد ذلك من فاعلية انتشار الحرارة بالتوصيل من خلال الجدار ـ فقد ينقل الهواء الساخن في الفجوة عن طريق الحمل الطبيعي أو المعزز إلى الغرف البعيدة في البناء. ولسوء الحظ، فلم يدرس أداء هذا النوع من الجدران بعد، لاتجريبياً ولاباستخدام الكمبيوتر.

### الجدار المعزول بفتحات وصل كبيرة:

بما أن نقل الحرارة عن طريق التوصيل عبر جدار ضخم صغيراً بالمقارنة مع احتمال نقل الحرارة عن طريق الحمل، فقد يكون الجدار الفاصل عبارة عن جدار معزول، مع أبواب كبيرة تصل الفسحة الشمسية بالغرف خلفها ويؤمن نقل الحرارة إلى البناء عن طريق الحمل. وربما يتم تعزيز جريان الهواء عن طريق استخدام باب بارتفاع السقف، بدلاً من الأبواب التقليدية. كما يمكن تعديل تأرجح درجة حرارة الفسحة الشمسية عن طريق عناصر أخرى للكتلة داخل مساحة الفسحة الشمسية، بمعزل عن الجدار الواصل.

وفي الليل، عندما تغلق الأبواب الواصلة، يخفض الجدار المعزول تدفق الحرارة عن طريق التوصيل عبر الفسحة الشمسية، من الداخل إلى الخارج. ويمكن تعديل

انخفاض درجة حرارة الفسحة الشمسية عن طريق عناصر الخزن الحراري ضمن مساحة الفسحة الشمسية. أما في الصيف أثناء ساعات النهار، فلو تم إغلاق وتظليل الأبواب الواصلة، يتم خفض اكتساب الحرارة إلى البناء إلى أدنى حد.

### الجدار الزجاجي والمعزول:

قد يتم وضع طبقة من الزجاج أمام جدار واصل معزول. وباعتبار الجدار المعزول بحد ذاته لايلعب دوراً في نشر الحرارة عن طريق التوصيل، يعد الهدف الرئيس لهذا الترتيب تزويد الحيز الداخلي بالهواء عند درجة حرارة أعلى مما يمكن الحصول عليه بالنسبة لجدار ضخم زجاجي يتمتع بقابلية التوصيل أو جدار معزول غير زجاجي.

وعندها قد يستخدم الهواء الساخن بهدف التدفئة السريعة للأماكن المشغولة البعيدة والمجاورة. ولذا من الممكن أن تكون التطبيقات النموذجية له في المدارس والمكاتب، حيث تؤخذ الإقامة أثناء النهار فقط بعين الاعتبار. وبدلاً من ذلك فقد يمرر الهواء الدافئ من خلال القنوات الهوائية في السقف، وذلك لتدفئة الأماكن البعيدة عن طريق الحمل.

### الكتلة الحرارية داخل الفسحة الشمسية:

لو كانت الفسحة الشمسية تستخدم لأي شيء آخر بدلاً من تدفئة الهواء، فلابد أن تحتوي على بعض الكتلة الحرارية لتعديل تأرجحات درجة الحرارة فيها. فمن دون الخزن الحراري، قد تكون تقلبات درجة الحرارة النهارية إلى درجة ٣٠°K في أيام الشتاء الصاحية اعتيادية. ويمكن تأمين كتلة الخزن الضرورية بأشكال عدة، في الأرضية، الجدران الواصلة، أو الميزات الإنشائية الأخرى، أو في عناصر مخصصة على شكل مزارع كبيرة، أوعية مياه، والخ...

إذ ينبغي أن يكون الموقع المثالي لمثل هذه الكتلة «الإضافية» غير الإنشائية في قاعدة الزجاج. إذ تعترض أشعة الشمس التي قد لاتشع على الجدار الواصل في وضع آخر، وحيث تعمل الحرارة التي تيم إطلاقها على تقديم نماذج حمل مفضلة داخل الفسحة الشمسية.

## قابلية تطبيق الأنظمة الشمسية السلبية المتعددة:

سنستعرض أدناه الأداء الكلي (في الولايات المتحدة) وقابلية تطبيق أنظمة التدفئة الشمسية السلبية المتعددة، في مختلف المناخات ومختلف أنواع الأبنية.

## حفظ الطاقة الكلية عن طريق قابلية تطبيق الأنظمة الشمسية السلبية في الأبنية السكنية في الولايات المتحدة:

لقد قام الكاتب (انظر Givoni ١٩٨٩) بإيجاز وتحليل العديد من الدراسات التي تمت فيها مراقبة أداء التكنولوجيات الشمسية في الأبنية السكنية وغير السكنية في الولايات المتحدة (Haskin and Stromberg، AIA 1978،Gordon et al.1986 Tor-، 1984، SERI 1983، Johnson 1978، Jones 1982، Hill et al.1987،1979 ١٩٨٥.noey et al). ولقد أظهر تحليل هذه البيانات بأن المساهمة المحتملة للأنظمة الشمسية السلبية في طاقة التدفئة (على الأقل في الولايات المتحدة) يعتمد بشكل رئيسي على الأحوال الغائمة. ففي نيو مكسيكو الباردة والمشمسة حتى، تم تحقيق جزء تدفئة شمسية (SHF) وصل إلى ٠,٨ (SHF هو جزء طاقة التدفئة الإجمالية التي تقدمها الشمس). وفي منطقة دنفر Denver كان الأداء الأفضل حوالي ٠,٦، وفي الغرب الأوسط والشمال الشرقي حوالي ٠,٥. ويمكن اعتبار هذه الحدود كحدود «قريبة من الحد الأعلى» مع تقنيات الخزن الحراري الحالية. وعلى أي حال، فقد لوحظت اختلافات كبيرة في الأداء في الأبنية الفردية، استناداً إلى مساحة الزجاج الشمسي، النظام الشمسي المحدد، معامل خسارة الحرارة للبناء، والخ....

**الاكتساب المباشر:**

يمكن تطبيق نظام الاكتساب المباشر على مقياس صغير، مقدماً الطاقة الشمسية للغرف المواجهة للشمس من خلال النوافذ التقليدية أثناء أيام الصحو، ودون خزن حراري لساعات الليل، في أي مناخ وأي بناء بواجهة مواجهة للشمس، بغض النظر عن عدد الطوابق التي يتألف منها. كما يمكن للأبنية المؤلفة من طابق واحد أن تستخدم الاكتساب المباشر من خلال monitors السطح، بغض النظر عن هندسة البناء، وأبعاده، ومساحة أرضية. وتعد الأبنية غير السكنية والتي تستخدم بشكل أساسي أثناء ساعات النهار، كالمدارس وبعض المكاتب، مرشح جيد لتطبيق الاكتساب المباشر، بحيث يتيح حل مشكلة الوهج والتدفئة المفرطة بشكل ناجح. وتتجلى أحد إمكانيات حل مشكلة الوهج في عكس الإشعاع المتخلل، عن طريق تفاصيل مناسبة للتظليل الداخلي، باتجاه السقف.

أما فيما يتعلق بالأبنية السكنية، والتي تشغل أثناء الليل، تعد قابلية التطبيق المتعلقة بنوع البناء أكثر تعقيداً. ففي الأبنية خفيفة الوزن، كمعظم المنازل في الولايات المتحدة، لايعد خزن الحرارة الشمسية في الكتلة الإنشائية للبناء عملياً حتى لليلة واحدة. ولابد من توفر عناصر مخصصة، والتي قد تضيف بشكل أساسي إلى تكلفة التدفئة الشمسية. ومع هذا، يمكن أن يحد الاكتساب المباشر من استهلاك طاقة التدفئة التقليدية من خلال تأمين تدفئة نهارية أيام الصحو.

كما تعتمد القدرة على خزن الطاقة الشمسية حتى ساعات الليل، أو حتى ليوم غائم واحد، على أي حال، على توفر الخزن الحراري الأساسي. ففي الأبنية ذات الجدران والقواطع عالية الكتلة، كالآجر والاسمنت، تعد القدرة على خزن الحرارة الشمسية لساعات الليل خاصية ملازمة لبنية البناء. أما في الأبنية خفيفة الوزن، وكما يبدو للكاتب، يعتمد التطبيق الأوسع للتدفئة الشمسية عن طريق الاكتساب المباشر على تطوير عناصر خزن جديدة يمكن أن تشكل جزءاً مكملاً لبنية البناء،

كأمواج الجدار والسقف المشكلة لمواد تغيير الطور Phase Change Materials (PCM) داخل تركيب اللوح (Givoni،Salyer et al 1985 ١٩٨٩) والـ PCM هي عبارة عن مواد تتحول من صلبة إلى سائلة عند امتصاص الحرارة ومن سائلة إلى صلبة عند إطلاق الحرارة. والعملية قابلة للانعكاس، كما يحدث تغيير الطور بينما تحافظ درجة حرارة المادة على استقرارها نسبياً.

**جدران الخزن الحراري:**

وهو عبارة عن جدار ضخم مبني من الاسمنت أو الآجر، مواجهاً للشمس. وهو عادة جزء من النظام الإنشائي المحتمل للشحنة للبناء، وتكون التكلفة الزائدة لنقله إلى عنصر الجمع الشمسي إضافة الزجاج، بالإضافة إلى تكلفة المادة الإضافية الضرورية للحصول على الخزن الحراري والإخماد المطلوب لتأرجح درجة الحرارة الداخلية. ولذلك يعد نظام التدفئة الشمسية السلبي هذا حلاً مغرياً في البلدان التي يشيع فيها بناء الآجر والاسمنت.

ويكون جدار الخزن الحراري دون تدبير العزل الليلي الخارجي (وهو حل تصميمي يبدو غير عملي بالنسبة للكاتب) حساساً للأحوال الغائمة في المناخ البارد، إذ يصبح أثناء الفترة الغائمة الممتدة لبضعة أيام عبارة عن sink للحرارة. ولذلك فمن المنظور المناخي، يعد العامل الرئيس المؤثر في قابلية تطبيق جدران الخزن الحراري في الأقاليم الباردة هو استمرار الفترات الغائمة.

أما في الأقاليم التي يكون صيفها حاراً مشمساً، يرغب بضمان وضع تظليل كامل للجدار، ليس فقط من أشعة الشمس المباشرة ولكن أيضاً من الإشعاع المنعكس من الأرض.

**نظام حلقات الحمل لستيف بيير:**

تعد حلقات الحمل مع المجمع الموضوع تحت مستوى أرضية البناء قابلة للتطبيق فقط في المواقع ذات المنحدر الجنوبي الشديد (في نصف الكرة الشمالي).

وفي الصيف يمكن استخدام المجمع، بتفاصيل تصميم مخصصة لتدفئة المياه مع تدفئة الهواء، وذلك لتدفئة المياه المنزلية عن طريق فصل الارتباط الحراري السلبي مع البناء وبالتالي منع احتمال حدوث التدفئة المفرطة.

**نظام** Barra

على خلاف جدار الخزن الحراري، فإن الجدار المواجه للشمس في نظام Barra هو عبارة عن جدار معزول بقدرة حرارية تافهة، ولذلك لايعد حساساً في الفترات الغائمة. فخلال الساعات المشمسة، تنقل الحرارة الشمسية إلى السقف ومن ثم إلى الحيز الداخلي، بينما يتم إيقاف التدفق الـ thermosyphonic أثناء الليل والفترات الغائمة ويحد عزل الجدار من خسارة الحرارة من خلال الجدار المواجه للشمس. أما في الصيف، فيحد عزل الجدار من اكتساب الحرارة الشمسية غير المباشر. وبالتالي، يعد هذا النظام قابلاً لتطبيق على نطاق أوسع للأحوال المناخية من جدران الخزن الحراري.

ويتم خزن الحرارة في نظام Barra في سقف إسمنتي، وهو تفصيل تصميمي قابل للتطبيق عملياً فقط في الأبنية ذات الأنظمة الإنشائية عالية الكتلة. وبما أن لكل طابق جدار المجمع وعناصر الخزن السقفية الخاصة به، يمكن تطبيق هذا النظام على الأبنية أياً كان عدد الطوابق التي تتألف منها. وقد يكون الحيز الذي تتم تدفئته عن طريق استخدام هذا النظام محدوداً، بالمسار الأفقي لجريان الهواء الـ thermosyphonic، إلى عمق حوالي ٨-١٠م (٢٦-٣٣»).

**قابلية تطبيق الفسحات الشمسية:**

قد تطبق الفسحات الشمسية في أي نوع للأبنية تقريباً، بأي ارتفاع، أو حجم، إذ لم يكن لها واجهة غير مظللة مواجهة للشمس. إلاأن هنالك بعض الاختلافات بين الأنواع العديدة للفسحات الشمسية وتطبيقاتها في مختلف الأبنية. فقد يكون جريان الهواء في فسحة شمسية في مسكن مؤلف من طابقين أو ثلاثة طوابق، مع سلم

داخلي في الجانب الخلفي يعمل كمقبض للهواء shaft، أعلى منه في الفسحة الشمسية لبناء مؤلف من طابق واحد.

كما يمكن تطبيق الشرفات الشمسية على الواجهة المقابلة للشمس لأي بناء، بغض النظر عن ارتفاعه، لأن جميع أنواع الزجاج تكون عمودية. كما يمكن وضع إحدى الشرف الشمسية على سطح الأخرى في الأبنية المؤلفة من عدة طوابق، ممتدة على طول الواجهة الكلية للبناء إذا كان هناك رغبة شديدة بذلك.

ومن جهة أخرى، يكون للبيت الزجاجي بالتعريف سطح زجاجي منحدر. فإذا وضع أحدها على سطح الآخر، ستحجب أرضية البيت الزجاجي العلوي أشعة الشمس عن السطح السفلي. إلاأنه يمكن بالطبع وضع البيوت الداخلية وفق نموذج رقعة الداما، في حال لم تمتد عبر العرض الكامل البناء. وبهذه الطريقة تكون هناك مسافة عمودية بطابق واحد بين أرضية البيت الزجاجي العلوي وسطح السفلي في نفس «الشريحة (الجزء)» العمودي للواجهة.

كما يمكن تطبيق الشرفات الشمسية في أي مناخ. وفي الأقاليم التي يكون صيفها حاراً، على أي حال، قد تسبب البيوت الزجاجية حدوث التدفئة المفرطة. وتظهر الرغبة باتخاذ تدابير التهوية ـ المتقاطعة الفعالة للفسحة الشمسية في كل مكان، إلاأنها هامة جداً في الأقاليم التي يكون الصيف فيها حاراً.

# ٥

# التبريد السلبي للمباني

**مقدمة:**

هذا الفصل هو عبارة عن نسخة معدلة ومجددة من الفصل الأول من «نظرة عامة عن التبريد السلبي وتبريد الطاقة المنخفضة للمباني overview of Passive and Low Energy Cooling of Buildings (انظر Givoni ١٩٩٤). ونناقشه في كتابنا هذا باعتبار موضوع التبريد السلبي جزءاً متمماً من الخطوات الرئيسة لتصميم المباني في المناخات الحارة (الجزء الثالث من كتابنا، بالإضافة إلى فائدته للقراء الذين لم يحصلوا على كتاب المؤلف عن التبريد.

وعلاوة على ذلك، ونظراً لقيام المؤلف بكتابة مسودة كتاب التبريد، فقد استمر في إجراء أبحاث عن العديد من أنظمة التبريد السلبية التي يناقشها في هذا الكتاب، وعلى نظام تبريد جديد لم يبحثه الكتاب الأول على الإطلاق وهو التبريد البخاري، الغير مباشر عن طريق الجدران المرطبة غير النافذة للماء والمتمتعة بقابلية التوصيل. بالإضافة إلى ذلك، قام أحد تلاميذ المكاتب، ويدعى ناصر الحميدي Nasser Al-Hemiddi، تحت إشراف الكاتب بإجراء تقييم تجريبي مشدد لبعض الأفكار الجديدة التي كان الكاتب قد طورها حول التبريد السلبي، في غرف بحجم حقيقي في المناخ الصعب للرياض في المملكة العربية السعودية. ويتضمن هذا الفصل أيضاً بناء على وافقته بعض البيانات التي حصل عليها وللمرة الأولى.

ويمكن تأمين تبريد المباني عن طريق الأنظمة السلبية من خلال استخدام العديد من sinks الحرارة الطبيعية: كالهواء المحيط، الغلاف الجوي الأعلى، والتربة تحت

السطح. وتشمل أنظمة التبريد هذه ما يلي:

- تهوية الراحة: أي تأمين الراحة البشرية المباشرة عن طريق التهوية الطبيعية، وبشكل أساسي أثناء ساعات النهار.

- التبريد الليلي بالتهوية: أي خفض درجة الحرارة الداخلية نهاراً عن طريق تهوية البناء أثناء الليل.

- التبريد الإشعاعي: أي استخدام عملية الإشعاع الليلي طويل الموجة إلى السماء.

- المباشرة، غير الآلية: أي التبريد البخاري لهواء التهوية، كأبراج التبريد مثلاً.

- غير المباشرة: أي التبريد البخاري للبناء عن طريق البرك السطحية والجدران المرطبة غير النافذة للماء والتي تتمتع بقابلية التوصيل.

- تبريد التربة: استخدام التربة كمصدر تبريد للأبنية.

وتؤمن بعض هذه الأنظمة أثر تبريد فوري كلما تم تشغيلها، مثل تهوية الراحة والتبريد البخاري المباشر. أما في أنظمة التبريد السلبي الأخرى، كالتبريد الإشعاعي والتبريد بالتهوية، تجمع طاقة التبريد أثناء ساعات الليل ويخزن «البرد»، في معظم الحالات في الكتلة الإنشائية للبناء. وتعمل الكتلة المبردة كمغطس للحرارة أثناء ساعات اليوم التالي، بامتصاص الحرارة المتخللة والحرارة التي تتولد داخل البناء. بينما تستطيع التربة المبردة والبرك السطحية بشكل خاص أيضاً أن «تشكل سطحاً» لموجات الحرارة الدورية، عندما ترتفع درجة حرارة المحيط لعدة أيام فوق المستوى المعتاد بالنسبة للفصل.

كما تعتمد قابلية تطبيق نظام تبريد مفترض على نوع البناء والمناخ. فقد تطبق بعض أنظمة التبريد فقط في أنواع محددة من الأبنية أو فقط تحت أحوال مناخية

معينة. كما تعتمد حدود الأحوال المناخية التي يمكن أن يطبق بموجبها نظام التبريد على توقعات الراحة للسكان وقد لاتكون نفسها في جميع البلدان. إذ يستطيع الناس الذين يعيشون في الأقاليم الحارة احتمال درجات حرارة أعلى قبل أن يشهدوا ارتياحاً بارزاً، وهذا يعود لظاهر التأقلم الطبيعي، كما ناقشنا في الفصل الأول.

ويعرض كتاب آخر للكاتب (انظر Givoni ١٩٩٤) مناقشة أكثر تفصيلاً حول صفات الأداء والحدود المناخية لتطبيق أنظمة التبريد السلبي وتبريد الطاقة المنخفضة المتعددة.

## تهوية الراحة (النهارية) :

يؤدي تدفق الهواء الخارجي بسرعة مفترضة عبر البناء إلى توسيع الحد الأعلى لمنطقة الراحة، أبعد من الحد الخاص بأحوال الهواء الساكن، وقد يؤمن أثر مباشر للتبريد الفيزيولوجي. وتحدث هذه الحالة غالباً أثناء ساعات النهار. ولذلك يمكن تعريف التهوية النهارية أيضاً على أنها تهوية راحة مباشرة، وخصوصاً في الحالات التي تخفض فيها أيضاً درجات الحرارة الداخلية، كما يحدث عندما تكون درجة الحرارة الداخلية في الأبنية غير المتمتعة بالتهوية أعلى من درجة حرارة الهواء الخارجي، بفضل اكتساب الحرارة الشمسية و/أو اكتساب الحرارة الداخلي.

ومع التهوية المتقاطعة الفعالة أثناء النهار، تتبع درجة حرارة الهواء الداخلي المستوى الخارجي، مصحوبة بسرعة دينامية داخلية أعلى. ولذلك، يعد حد درجة الحرارة لقابلية تطبيق تهوية الراحة ذاته حد الراحة بسرعة دينامية معززة، في أي فصل أو إقليم. وبالتالي، وبافتراض سرعة دينامية داخلية تبلغ ١,٥-٢,٥ s/m (٣٠٠-٤٠٠ fpm)، تكون تهوية الراحة قابلة للتطبيق في الفصول والأقاليم عندما لاتتجاوز درجة الحرارة القصوى للهواء الخارجي حوالي 28 - 32 $C^{o}$ (82,4 - 89,6 $C^{o}$) استناداً إلى تأقلم السكان وتوقعات الراحة. انظر الفصل الأول..

### تأثير الكتلة في الأبنية المتمتعة بتهوية مستمرة:

تظهر إحدى الدراسات التجريبية بأنه حتى عندما تتم تهوية الأبنية تهوية متقاطعة أثناء ساعات النهار، يمكن أن تكون درجات الحرارة الداخلية القصوى في بناء عالي الكثافة معزول جيداً أدنى بحدود ٢-٣F° (3.6-5.4C°) من درجات الحرارة الخارجية القصوى، بينما تقترب درجة الحرارة الداخلية القصوى في بناء منخفض الكثافة من الحرارة الخارجية القصوى.

كما يبين الشكل ٥-١ نماذج درجة الحرارة النهارية للأبنية عالية الكثافة والأبنية منخفضة الكثافة، بفتح نوافذها نهاراً وليلاً، في دراسة تجريبية أجراها الكاتب في بالاPala، في كاليفورنيا. حيث تم تشغيل مراوح Exhaust أثناء ساعات الليل لضمان درجة كافية لتغير الهواء، في غياب الرياح أثناء الليل. وكانت درجة تغير الهواء (ach) أثناء الليل حوالي ٣٠ تغير كل ساعة.

ويمكن أن نرى من الشكل ٥-١ بأن درجة الحرارة القصوى للبناء عالي الكثافة كانت أدنى بشكل دائم. كما مكن تبريد كتلة البناء ليلاً عن طريق التهوية المعززة من امتصاص الحرارة من هواء التهوية أثناء ساعات النهار، بشكل كافً لخفض درجة الحرارة القصوى بشكل هام. وهذا يعني أنه بإمكان الكتلة الحرارية خفض درجات الحرارة النهارية الداخلية وتعزيز راحة السكان حتى في الأبنية التي تتم تهويتها ليلاً نهاراً، بحيث تكون درجة التهوية الليلية كافية لجعل درجة الحرارة الدنيا الداخلية قريبة من الحرارة الخارجية الدنيا.

ومن جهة أخرى، وفي حالة الأبنية منخفضة الكثافة التي تمت تهويتها طبيعياً أثناء النهار، لم تخفض التهوية الليلية المعززة بتشغيل المراوح درجات الحرارة النهارية الداخلية بشكل هام.

ولقد أظهر تحليل لهذه البيانات ارتباط انخفاض درجة الحرارة الداخلية القصوى دون درجة الحرارة الخارجية القصوى، بتأرجح درجة الحرارة الخارجية

اليومي (القصوى ـ الدنيا). ولقد طورت صيغة لحساب الحرارة الداخلية القصوى المتوقعة في بناء عالي الكثافة، استناداً إلى هذه العلاقة، وهي:

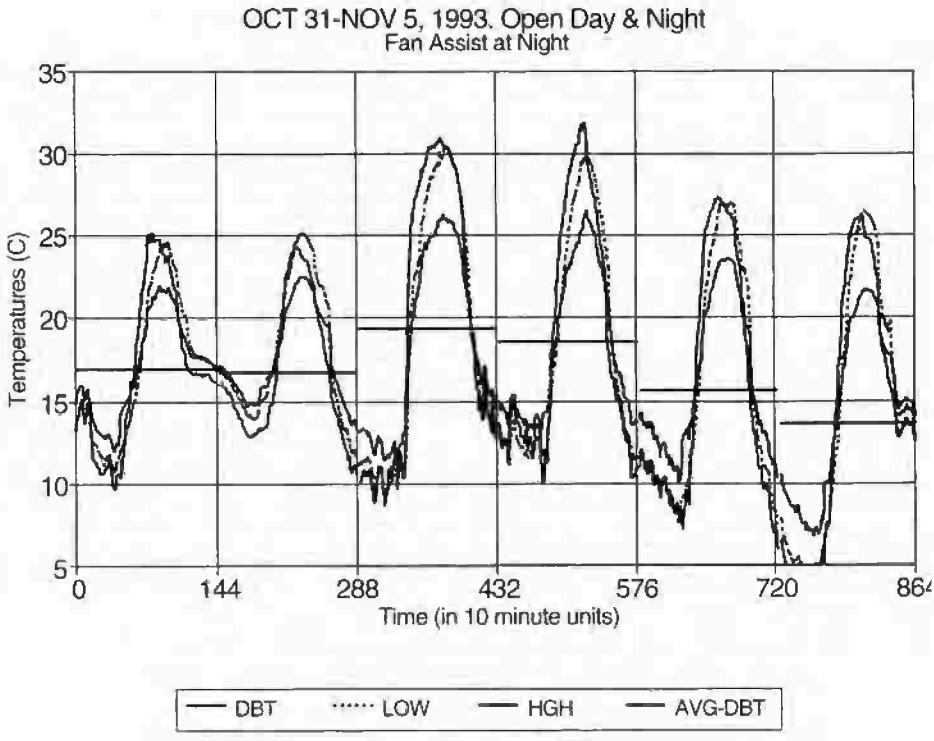
$$\mathbf{Tmax\text{-}in = Tmax\text{-}out - 0{,}31 * (Tmax\text{-}out - Tmin\text{-}out) + 1.6}$$

حيث:

Tmax-in = درجة الحرارة الداخلية القصوى ($F_o$ أو $C_o$).

Tmax-out = القصوى الخارجية

Tmin-out = الدنيا الخارجية




الشكل ٥-١. نماذج درجة الحرارة النهارية لأبنية عالية الكثافة ومنخفضة الكثافة، عند فتح نوافذها ليلاً ونهاراً.

### قابلية تطبيق تهوية الراحة:

إذا افترضنا إمكان تحقيق سرعة دينامية داخلية تبلغ ١-١,٥ s/m (٢٠٠-٣٠٠ fpm)، (إما عن طريق التهوية الطبيعية وحدها، أو مع مساعدة مروحة exhaust للمنزل ككل)، يمكن تطبيق تهوية الراحة بشكل أساسي في الأقاليم / الفصول عندما لاتتجاوز درجة حرارة الهواء الخارجي القصوى 28 - 32°C (82,4 - 89,6°F) حتى في الأيام «الحارة»، اعتماداً على تأقلم السكان. كما تعد قابلة للتطبيق بشكل خاص في الأقاليم التي يكون فيها نطاق درجة الحرارة النهارية أقل من حوالي 10°C (18°F) أما في الأقاليم التي تكون فيها درجات الحرارة القصوى مشابهة ولكن مع نطاق درجة حرارة خارجية أعلى، فقد تكون التهوية أثناء ساعات الليل فقط أكثر فعالية ـ مع إغلاق (أو تظليل) النوافذ أثناء ساعات النهار.

كما يمكن تطبيق تهوية الراحة في جميع أنواع الأبنية. وفي الأقاليم التي تكون فيها سرعات الرياح اليومية معتدلة ـ عالية، يمكن أن تكون التهوية طبيعية. أما في الأماكن التي لاتكون فيها سرعات الرياح كافية و/أو في الأبنية التي تستحيل فيها التهوية المتقاطعة الفعالة بفضل تصميم الحيز الداخلي، يمكن إطلاق الهواء الداخلي بواسطة مروحة، مع دخول الهواء الخارجي إلى البناء عبر النوافذ المفتوحة.

## التبريد الليلي عن طريق التهوية :

عندما تتم تهوية بناء عالي الكثافة ليلاً، تبرد كتلته الإنشائية عن طريق الحمل من الداخل، مجتازة المقاومة الحرارية للمغلف. وأثناء ساعات النهار، يمكن أن تعمل الكتلة المبردة كـ sink للحرارة، إذ كان للكتلة مقدار ومساحة سطحية كافيين وكانت معزولة عن الخارج بشكل ملائم. فهي تمتص الحرارة المتخللة والمتولدة داخل البناء، عن طريق الإشعاع والحمل الطبيعي، وتخفض بذلك درجة ارتفاع الحرارة الداخلية. ولهذا، لابد من إغلاق البناء (أي عدم تهويته) أثناء النهار لمنع الهواء الخارجي الأكثر

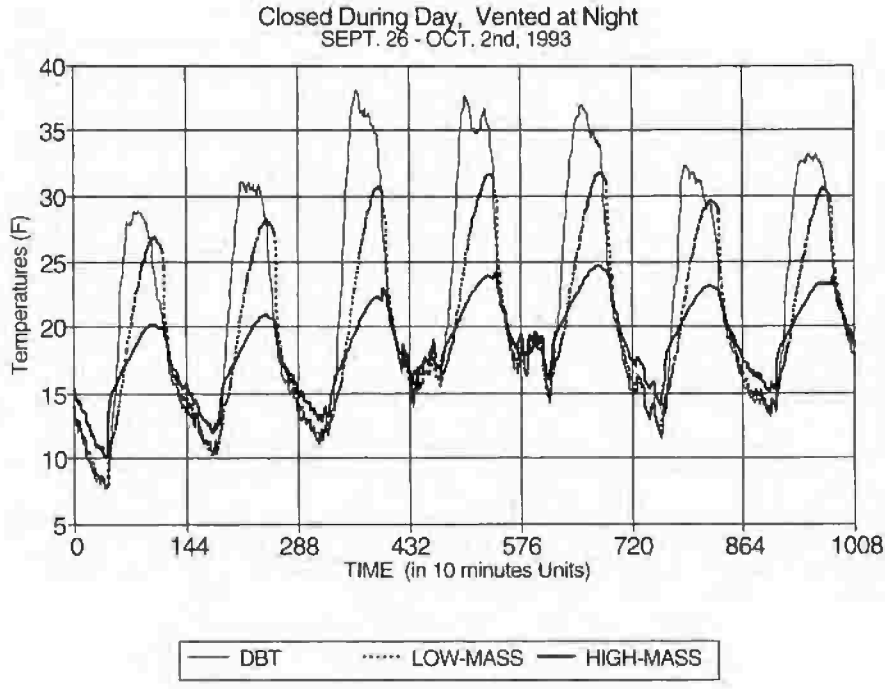
سخونة من رفع درجة حرارة الداخل. وكنتيجة لذلك، يمكن أن تكون درجة الحرارة الداخلية العظمى في مثل هذه الأبنية أدنى على نحو يمكن تقديره إما من الحرارة الخارجية العظمى أو من درجة الحرارة الداخلية العظمى لبناء مشابه لاتتم تهويته أثناء الليل. وتدعى استراتيجية التبريد هذه التبريد الليلي عن طريق التهوية.

ويبين الشكل ٥-٢ أثر التهوية الليلية، إذ يظهر نماذج مختلفة لدرجة الحرارة الداخلية بين البناء عالي الكثافة وبناء منخفض الكثافة مع درجة الحرارة الخارجية، خلال فترة تتم فيها تهوية البناءين أثناء الليل وإغلاقهما أثناء ساعات النهار.

إذ كانت درجة الحرارة الداخلية للبناء منخفض الكثافة قريبة إلى نموذج الحرارة الخارجية، إلاأثناء الأيام التي شهدت ارتفاعاً شديداً لدرجة الحرارة الخارجية القصوى. أما خلال الأيام الأبرد، فقد كانت درجة الحرارة الداخلية القصوى أعلى حتى من الخارجية القصوى، على الرغم من التهوية أثناء الليل. وهكذا، ففي حالة الأبنية منخفضة الكثافة، لاتكون التهوية الليلية فعالة في خفض درجات الحرارة النهارية وتحسين أحوال الراحة النهارية.

أما في حالة البناء عالي الكثافة، فقد خفضت التهوية الليلية درجة الحرارة النهارية الداخلية دون درجة الحرارة الخارجية بشكل دائم.

وقد يفضل التبريد الليلي عن طريق التهوية من المفهوم المناخي على تهوية الراحة في الأقاليم التي تعلو فيها درجات الحرارة النهارية صيفاً عن الحد الأعلى لمنطقة الراحة ـ مع سرعة دينامية داخلية تبلغ حوالي ١,٥ s/m (٣٠٠fpm). كما تعد هذه الاستراتيجية قابلة للتطبيق بشكل أساسي في الأقاليم التي يكون فيها تأرجح درجة الحرارة النهارية أعلى من 15°C (27 °F) وبشكل خاص في الأقاليم الجافة حيث تكون درجات الحرارة النهارية بين 36 - 32°C (89,6 - 69,8 °F) ودرجات الحرارة الليلية حوالي 20°C (68 °F) أو أقل (لتمكن حصول الخزن البارد الليلي الكافي).




الشكل ٥-٢. نماذج درجة الحرارة الداخلية لأبنية عالية الكثافة ومنخفضة الكثافة في كاليفورنيا. حيث تم إغلاق النوافذ أثناء النهار وتظليلها. بينما تمت تهويتها أثناء الليل باستخدام المراوح.

أما في الأقاليم الجافة التي تتجاوز فيها درجات الحرارة النهارية (96,8 $F^{o}$) 36 $C^{o}$ فقد لاتحافظ التهوية الليلية على المستوى المقبول للأحوال النهارية الداخلية حتى في بناء عالي الكثافة. وهناك استثناء يتجلى في الحالة التي يكون فيها معدل درجات الحرارة القصوى أدنى من 34 $C^{o}$ (93,2 $F^{o}$) ولكنه يكون في فترات موجة الحرارة القصيرة حوالي 38 $C^{o}$ (100,4 $F^{o}$) وعندما تكون درجة تغير الحرارة الداخلية للأبنية عالية الكثافة أصغر من درجة تغير الحرارة الخارجية، قد يبقى البناء عالي الكثافة المتمتع بتهوية ليلية مريحاً خلال فترة الموجة الحرارية.

ويناقش Givoni ١٩٩٤ موضوع التبريد الليلي عن طريق التهوية بتفصيل أكبر.

## التبريد الإشعاعي:

يفقد أي سطح اعتيادي «يطل» على السماء الحرارة عن طريق إصدار الإشعاع الموجي الطويل باتجاه السماح، ويمكن أن يعتبر كمشع للحرارة. وبالرغم من حدوث خسارة الحرارة بالإشعاع ليلاً نهاراً، يكون التوازن الإشعاعي سلبياً فقط أثناء الليل. أما في ساعات النهار فيقاوم الإشعاع الشمسي الممتص أثر التبريد الذي يحدثه الإصدار الموجي الطويل وينتج اكتساب نهائي للحرارة بالإشعاع.

ويتم عزل الأسطح عادة للحد من خسارة الحرارة شتاءً واكتسابها صيفاً. ونظراً لحدوث الخسارة الإشعاعية في السطح الخارجي للسطح، يخفض العزل التبريد الفعلي بحيث يمكن أن يستفيد البناء من الإشعاع الليلي، إلا إذا طبقت تصاميم مخصصة (أنظمة التبريد الإشعاعي). ويبحث جيفوني ١٩٩٤ في موضوع أنظمة التبريد الإشعاعي بتفصيل أكبر.

## الأسطح الإسمنتية مع العزل المتحرك كمشعات:

إن المفهوم الأبسط للتبريد الإشعاعي هو تبريد سطح ثقيل يتمتع بقابلية التوصيل العالية (مبني من الاسمنت الكثيف على سبيل المثال) ومكشوف على السماء أثناء الليل ولكنه معزول بشكل كبير خارجياً أثناء النهار (بواسطة العزل المتحرك). إذ يمكن أن تكون هذه الأسطح، ذات البنية التقليدية الشائعة في العديد من البلدان، فعالة جداً في خسارة الحرارة أثناء الليل عن طريق كل من الإشعاع الموجي الطويل إلى السماء والحمل إلى الهواء الخارجي، والذي تنخفض حرارته أسرع من السطح الهائل (massive). كما يحد العزل الخارجي (المركب) أثناء ساعات النهار من اكتساب الحرارة والإشعاع الشمسي والهواء المحيط الأكثر حرارة. ومن ثم يمكن للكتلة المبردة السطح أن تعمل كـ sink للحرارة وتمتص الحرارة المتخللة والمتولدة داخل حيز البناء أثناء ساعات النهار، وذلك من خلال السقف.

ولكن الكاتب لايعرف عن أية أبنية تستخدم مثل هذا النظام، على الرغم من أنه كانت قد أجريت العديد من الدراسات لتقييم أداء هذا النظام مع نماذج عديدة للأبنية. ولقد أظهرت أن الأسطح الإسمنتية، الشائعة جداً في العديد من البلدان، مع تطبيق العزل المتحرك، يمكن أن تؤمن تبريد إشعاعي فعال وتحافظ على درجة الحرارة الداخلية نهاراً دون المستوى الخارجي ويعرض كتاب المؤلف (Givoni ١٩٩٤) ويناقش هذه الدراسات.

وعلى أية حال ففي رأي الكاتب، لايتوفر العزل المتحرك والرخيص في الوقت الحاضر (انظر مناقشة حول نظام Skytherm «أدناه» فإلى الحد الذي سيطور به العزل المتحرك البسيط، يمكن للأسطح الإسمنتية أن تؤمن تبريد إشعاعي فعال، بسيط، ورخيص في العديد من الأقاليم الحارة في العالم.

**نظام «Skytherm»:**

لقد قام هي Hay (١٩٧٨) بتطوير نظام تبريد إشعاعي وتدفئة شمسية سلبية يدعى Skytherm ففي هذا النظام يبنى السطح (الأفقي) من صفائح أرضية إنشائية. وتوضع الأكياس البلاستيكية المملوءة بالماء فوق الأرضية المعدنية، ويمكن تحريك لوح العزل فوقها عن طريق محرك لتقوية أو كشف الأكياس في الشتاء تعرض أكياس الماء للشمس أثناء النهار وتغطى أثناء الليل عن طريق ألواح العزل. أما في الصيف، وعندما يكون التبريد ضرورياً، تكشف أكياس الماء وتبرد أثناء الليل بينما تعزل أثناء ساعات النهار كما تكون أكياس الماء المبردة على تماس حراري مباشر مع الأرضية المعدنية بحيث يعمل السقف كعنصر تبريد فوق الحيز الكامل الذي يقع أدناه.

ولقد تم تشييد العديد من الأبنية التي تستخدم أنواع متعددة لهذا النظام في الولايات المتحدة. كانت بعضها عبارة عن مباني تجريبية خضعت لدراسات مفصلة، لتقييم أدائها الفيزيائي والمشكلات العملية التي تواجهها مع العزل المتحرك. ويناقشها Givoni ١٩٩٤ بالتفصيل.

وتبدو المشكلة الرئيسة التي تواجهها هذه الأبنية مع الأنواع العديدة لنظام «Skytherm» في العزل المتحرك. فاستناداً إلى تقارير الأبحاث التي أجريت على العديد من الأشخاص الذين جربوا هذا النظام ([n.d.]Clinton ،Clark 1989 ، Marlatt et.al. ١٩٨٤) يرى الكاتب أنه لايزال هناك شك في توفر نظام بسيط، مناسب، رخيص، ولايسبب المشاكل للعزل المتحرك.

ويذكر Clark (١٩٨٩)، في خلاصة التجربة مختلف الأبنية التي طبقت نظام «Skytherm»: «لقد كانت الألواح التقليدية المدورة أفقياً أيضاً غالية الثمن وغير موثوقة ميكانيكياً كنوع من الألواح يتم تركيبه مرة واحدة».

كما يذكر Clinton (n.d.): «لقد كانت المشكلة الرئيسة بالنسبة لأبنية البرك السطحية في الماضي في الشك في فائدتها التي تفوق كلفتها بالنسبة للأبنية السكنية... والموثوقية غير المؤكدة لعمل العزل المتحرك....»

**المشعات المعدنية المخصصة:**

بغية الاستفادة من أثر تبريد الإشعاع الليلي بالنسبة للأبنية ذات الأسطح الاعتيادية المعزولة، يجب أن تنقل البرودة المتولدة على السطح الخارجي، فوق العزل، إلى الحيز الداخلي للبناء. ويؤمن «نقل البرودة» هذا عادة عن طريق جريان الهواء تحت العنصر المشع، والذي ينقل البرودة التي تم توليدها عن طريق الإشعاع الليلي إلى الكتلة الإنشائية للبناء.

وقد يكون عملياً للبناء المبرد عن طريق مثل هذا النظام سطح معزول جيداً أفقي أو منحدر قليلاً. حيث يكون العزل ضرورياً للحد من خسارة الحرارة في الشتاء واكتسابها في الصيف. وقد يكون أي سطح، سواء أكان ثقيلاً مصنوعاً من الاسمنت أو سطحاً خفيف الوزن، مناسباً.

ويجب أن يتألف المشع الليلي المخصص من طبقة معدنية. إذ تضمن الناقلية العالية للمعادن اقتراب الجانب السفلي للمشع من درجة حرارة السطح المشع.

ويمكن أن تعمل أي طبقة معدنية توضع فوق السطح كمشع، مع فسحة هوائية تبلغ حوالي ٥-١٠ سم (٢-٤") تحتها. كما يستطيع هذا «المشع» أيضاً أن يعمل كعنصر مقاوم للأمطار.

كما ستنخفض درجة حرارة الطبقة المعدنية فوق السطح المعزول دون درجة حرارة مستوى الهواء المحيط حتى قبل غروب الشمس. وعندها يكتسب المشع الحرارة، ويزداد اكتساب الحرارة هذا عن طريق الحمل مع سرعة الرياح قرب السطح. ويحدد التوازن بين الخسارة الإشعاعية والاكتساب بالحمل الهبوط الفعلي لدرجة حرارة المشع دون مستوى درجة حرارة الهواء المحيط. ويسمى هبوط درجة الحرارة الذي نحصل عليه بواسطة مشع دون جريان الهواء تحته «هبوط درجة حرارة الركود». وهو المعيار الأفضل الذي نقيم بواسطته تجريبياً احتمال التبريد الإشعاعي في ظل أحوال مناخية مفترضة.

وليكتسب قيمته كنظام تبريد، لابد أن تكون درجة حرارة ركود المشع أدنى من درجة حرارة الهواء المحيط ببعض الهبوط في درجة الحرارة الدنيا ـ مثلاً على الأقل 5 $C^{o}$ (9$F^{o}$) وإلايمكن تطبيق التبريد عن طريق التهوية الليلية الأبسط والأقل تكلفة. كما يمكن تبريد الهواء المحيط الذي يحرك تحت المشع بحوالي ثلث أو ثلثي هبوط الركود الذي يحققه المشع، استناداً إلى درجة الجريان.

كما يهب الهواء البارد في الحيز الداخلي لتبريد كتلة البناء، بطريقة مشابهة للتبريد بالحمل الذي ناقشناه سابقاً ولكن بدرجة حرارة أدنى من المستوى الذي يمكن تحقيقه عن طريق التهوية المباشرة بالهواء المحيط. وعندها تعمل الكتلة المبردة خلال اليوم التالي كـ sink للحرارة المتخللة والمولدة داخل البناء.

### الأسطح الإشعاعية المعدنية للبلدان النامية:

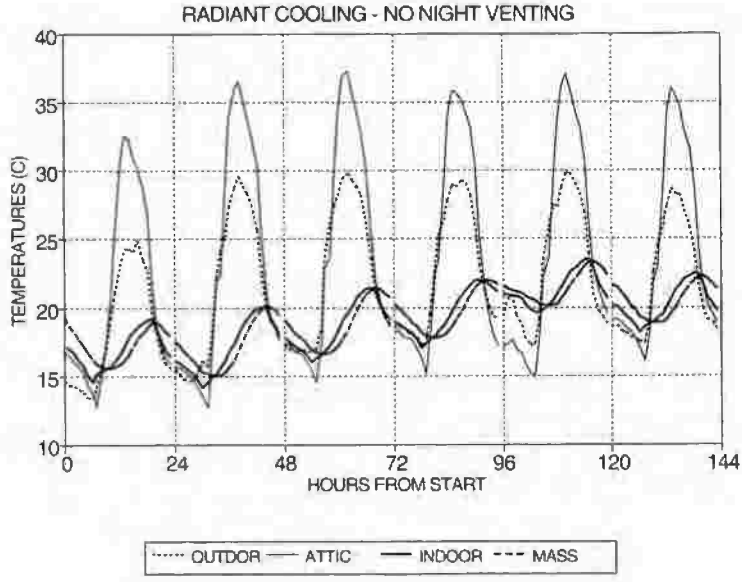
تشيع الأسطح المعدنية المضلعة في العديد من البلدان النامية. فأثناء ساعات الليل تنخفض حرارة السطح منخفض الكثافة بسرعة، بحيث يعمل كمشع ليلي فعال

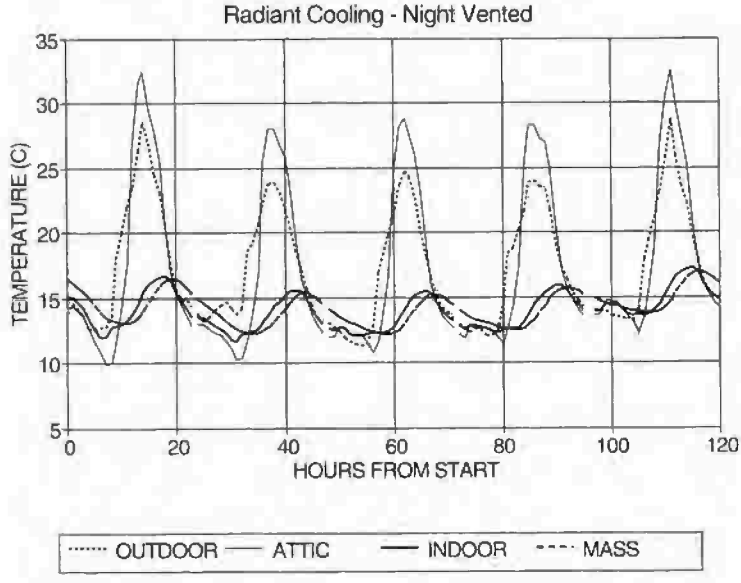
متوضع فوق حيز المعيشة مباشرة. وتكون الأحوال الداخلية ليلاً في مثل هذه الأبنية غالباً مريحة أكثر منها في الأبنية ذات الأسطح عالية الكثافة. أما خلال ساعات النهار على أي حال، يكون المناخ الداخلي في الأبنية بهذا النوع من الأسطح غالباً حاراً بشكل يسبب عدم الارتياح، بسبب رفع درجة حرارة الأسطح خفيفة الوزن غير المعزولة حتى تصل إلى درجات حرارة أعلى بكثير من حرارة السطح الإسمنتي الهائل.

كما يمكن أن يحد إدخال صفائح متوازية عازلة للحيز الداخلي ومفصلة مركزياً تحت السطح بشكل كبير من التدفئة النهارية دون تعارضها الكبير مع أثر التبريد لهذه الأسطح خلال ساعات الليل. فعندما تكون الصفائح بوضعية أفقية (مغلقة) أثناء ساعات النهار، تشكل طبقة عزل مستمرة تحت السطح، وتخفض تدفق الحرارة إلى الحيز الداخلي إلى أدنى حد. أما في الليل يجب أن تحول الصفائح إلى وضعية عمودية (مفتوحة)، بحيث تمكن تدفق الحرارة بالحمل والإشعاع من الحيز الداخلي إلى السقف/السطح، والذي يتم تبريده عن طريق الإشعاع الموجي الطويل إلى السماء.

كما لاتعرض صفائح العزل الداخلي للرياح والأمطار ولذلك قد تكون أسهل في البناء، أخف، وأقل كلفة من صفائح العزل الخارجي. كما يمكن التحكم بتغيير وضعيتها، سواء عمودية أم أفقية، يدوياً من الداخل عن طريق استخدام حبل.

ويعد خطر الحريق مصدر الخطر الرئيس المحتمل بالنسبة للعزل الداخلي فيما لو صنع من مواد بلاستيكية ممددة. ويعد التصميم الممكن للعزل الداخلي المتحرك غير القابل للاحتراق في استخدام الإطارات الخشبية مع تبطين بورق ألمنيوم. إذ تعمل مثل هذه الألواح، عندما تكون بوضعية أفقية (مغلقة) أثناء النهار كفاصل مشع فعال بين السطح الحار والحيز الداخلي. كما يمكن «تصنيع» أدوات بسيطة، بتعليمات مناسبة، وتركيبها من قبل السكان أنفسهم وأيضاً retroffited بسهولة في الأبنية الموجودة.




الشكل ٥-٣ و٥-٤. أداء التبريد الإشعاعي عن طريق ألواح عزل داخلية مفصلة تحت السطح المعدني. دون تهوية ليلية.

ولقد أجرى بحث حول الأداء الفعلي في جامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس (UCLA) من قبل تلميذي الكاتب مايكل غوليتش Michael Gulich وكارلوس جوميز Carlos Gomez. وبنيت خلية اختبار للنظام بأبعاد داخلية ١×١×٠,٩٥م (٣,١"). وبهدف تقييم فاعلية الفاصل الإشعاعي المتحرك، وزيادة التأثير النسبي لمشع السطح في خلية على ارتفاع يساوي العرض تقريباً، كانت الجدران والسطح «معزولة بشكل ممتاز» ومؤلفة من ألواح من البوليرثين بسماكة ٨ سم (٣,٢"). كما طليت باللون الأبيض. وزودت الكتلة الحرارية بـ ٣١ زجاجة بسعة ٢ليتر ملئت بالماء داخل النموذج. وتم تسجيل الأداء الحراري للنظام من خلال Go-، Gulich،Givoni Gomez،mez (١٩٩٦).

ويبين الشكل ٥-٣ نماذج درجة الحرارة الداخلية والخارجية أثناء فترة ستة أيام، بينما تم إغلاق ألواح العزل خلال النهار وفتحها ليلاً. وكان معدل هبوط درجة الحرارة الداخلية العظمى دون الحرارة الخارجية القصوى في السلسلة ككل مع هذا الوضع (٣٩يوم) C°4,5 (F° 9,7)

أما في سلسلة أخرى، تمت تهوية العلية بمروحة صغيرة من منتصف الليل حتى الساعة الخامسة صباحاً. وحولت الألواح العمودية المفتوحة مسار جزء من الهواء الداخل للأسفل بحيث قام بتهوية الحيز الداخلي وزاد السرعة الدينامية الداخلية، معززاً بذلك من تبادل الحرارة مع الكتلة الحرارية. ويبين الشكل ٥-٤ نماذج درجة الحرارة أثناء خمسة أيام من هذه السلسلة. ولقد كان معدل هبوط درجة الحرارة القصوى بالنسبة لهذه السلسلة ككل مع هذا الوضع (٣٦يوم) C°6,9 (F° 12.4) وكان الهبوط في الحرارة القصوى الداخلية دون الحرارة الخارجية مرتبطاً إلى حد كبير بالتأرجحات اليومية الخارجية.

## أبراج التبريد البخاري:

هناك نوعين لأبراج التبريد البخاري التي تنتج تدفقاً في الهواء المبرد. الأول هو برج «أريزونا Arizona»، الذي طوره Cunningham و Thompson في معهد أبحاث جامعة أريزونا Research Institute of the University of Arizona في توكسون Tucson. والثاني هو برج تبريد «الدش Shower» الذي طوره جيفوني Givoni.

### برج تبريد كاننغام وثامبسون:

لقد قام Cunningham و Thompson (١٩٨٦) بتطوير واختبار برج تبريد هوائي بخاري سلبي، موصول ببناء، في Tucson، أريزونا، لمدة يومين. ويتألف النظام من برج منحدر على قمته حشوات سيللوز مرطبة عمودية مخصبة بأملاح ضد التعفن ومواد مشبعة للتصليب. حيث يوزع الماء في قمة الحشوات، ويجمع في الأسفل من خلال مستنقع، ومن ثم يعاد توزيعه باستخدام مضخة. كما يشمل النظام الكامل في توكسون مدخنة شمسية على الجانب المعاكس للبناء، وذلك لتعزيز درجة جريان الهواء من خلال برج التبريد والبناء. ويبين الشكل ٥-٥ بناء الاختبار وبرج التبريد البخاري والمدخنة الشمسية.

لقد كان الأداء الذي تم قياسه للنظام مؤثراً جداً. فعندما كانت درجة الحرارة الخارجية القصوى $C^{o}40,6$ ($F^{o}105$) ودرجة حرارة البصلة الرطبة (WBT)، $C^{o}21,6$ ($F^{o}$ 71) كانت درجة حرارة الهواء الخارج من البرج $C^{o}23,9$ ($F^{o}$ 75) وكانت السرعة المطابقة للهواء الخارج في ذلك الوقت ٠,٧٥ s/m (١٥٠fpm). ولقد مكنت التحاليل التي قام بها جيفوني (١٩٩٤) لنتائج اختبار Cunningham وThompson، من تطوير نموذج رياضي يتنبأ أداء البرج ودرجة الحرارة الداخلية لبناء يتم تبريده عن طريق البرج. وتم التصديق على النموذج بمقارنة تنبؤاته مع بيانات تجريبية مختلفة لدرجات الحرارة الداخلية للبناء أثناء هذه السلاسل الثلاث المؤلفة من خمسة أيام في حزيران، تموز، وآب.

ويبين الشكل ٥-٦ النماذج النهارية لمخرج البرج ودرجات حرارة الهواء الداخلي للبناء، والتي تم قياسها أثناء يومين من قبل Cunninghom و Thompson، مع درجات الحرارة التي تم احتسابها باستخدام النموذج. كما يعرض جيفوني ١٩٩٤ تفاصيل حول النموذج الرياضي ومصداقيته.

الشكل ٥-٥. بناء الاختبار في أريزونا مع المدخنة الشمسية للتبريد البخاري (إلى اليسار) والبرج (إلى اليمين).

**برج التبريد** «Shower» :

لقد تم تطوير نظام التبريد هذا أولاً من قبل جيفوني بينما كان يعمل كمستشار في مناطق الاستراحة الخارجية للتبريد لـ EXPO 92 في سيفيل Seville، اسبانيا.

ويبين الشكل ٥-٧ النمـــوذج الأصلي الذي بني في روتاندا Rotunda في مـــوقع Seville 92 EXPO: هو سهولة عملية لمختلف أنظمة التبريد الخارجية. كما يمكن أن يطبق هذا النظام أيضاً كنظام تبريد للأبنية، وكان قد تم اختباره كذلك.

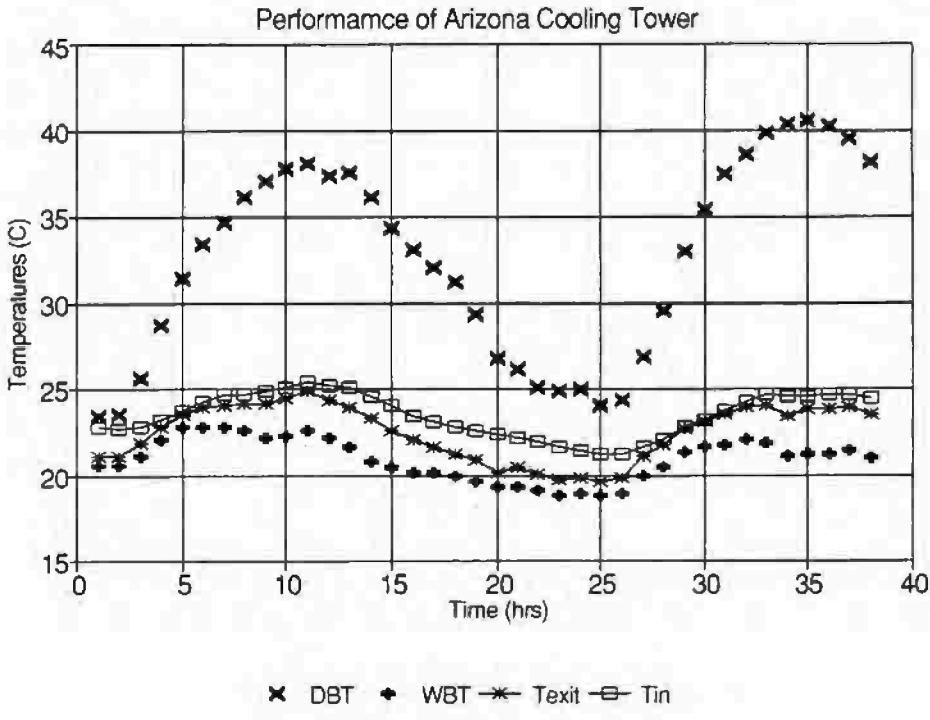
فعندما ترش قطرات خفيفة من الماء (مع وجود مساحة سطحية كبيرة جداً) بشكل عمودي إلى الأسفل من قمة عمود مفتوح. كالدوش Shower، يحرك الماء المتساقط حجماً كبيراً من الهواء. ويتم جمع الماء في بركة صغيرة في قاعدة العمود وضخه ثانية إلى قمة الدش. وهكذا يحول اندفاع الماء المتساقط إلى تيار هوائي، ويخلق جريان الهواء الساكن على طول العمود. ويبرد التبخر من القطرات الخفيفة الماء، بالإضافة إلى الهواء في العمود، إلى مستوى قريب من WBT المحيطة. كما يمكن وضع ملتقط للريح فوق رأس الدش، وذلك ليكمل جريان الهواء الساكن عن طريق تأثير الريح.

وبحدوث أي تبخر من القطرات في التيار الهوائي، يمكن استخدام أي نوع من الماء، حتى لو لم يكن عذباً أو ماء البحر، إذا توفر، لهذا النظام. وهكذا يمكن تطبيق هذا النظام في الأماكن التي لاتعد أنظمة التبريد البخاري الأخرى قابلة للتطبيق إذ تحتاج إلى ماء عالي الجودة. وفي الواقع، لم يلاحظ أي اختلاف في أداء النظام في التبريد عن اختباره بماء عذب أو ماء البحر.

كما تم تطوير نموذج رياضي يتنبأ أداء البرج ودرجة الحرارة الداخلية لبناء يتم تبريده من خلال هذا البرج من قبل جيفوني (١٩٩٤).

وتم اختبار أداء هذا النظام من قبل التلميذ المتخرج للمؤلف، ويدعى ناصر الحميدي (١٩٩٥)، بدايةً في نموذج أبعاده ٤,٧٥ × ١,٢م (١٥,٦ × ٣,٩') وارتفاعه ٢,٥م (٨,٢')، في لوس أنجلوس، ومن ثم في بناء كامل، مع أنظمة تبريد سلبية أخرى من تصميم المؤلف (نوع جديد من البرك السطحية الصالحة للمشي walka-

ble وتبريد تربة السطح، انظر أدناه) في الرياض، المملكة العربية السعودية. وكان البناء عالي الكثافة ومعزول جيداً ومؤلف من أربع غرف. استخدمت إحداها كمصدر للتحكم دون وجود نظام تبريد. بينما تم تبريد الغرف الثلاث الأخرى باستخدام ثلاثة أنظمة مختلفة هي: برج الدش، البركة السطحية، وطبقة التربة المبردة، على التوالي. ونناقش أداء «برج الدش» أدناه.




الشكل ٥-٦. النماذج النهارية لمخرج البرج ودرجات حرارة الهواء الداخلي للبناء، والتي تم قياسها خلال يومين من قبل Cunninghom و Thompson (١٩٨٦).

الشكل ٥-٧. النموذج الأصلي لبرج التبريد لمناطق الاستراحة الخارجية، في Ro-tunda لـ ١٩٩٢ EXPo في Seville، اسبانيا.

ويبين الشكل ٥-٨ درجات الحرارة الداخلية التي تم حسابها وقياسها لنموذج الاختبار في لوس أنجلوس في ٨ تشرين الأول، ١٩٩٢. حيث كانت درجة الحرارة الخارجية القصوى أعلى من Co29 (Fo 84.2) بينما كانت درجة الحرارة الداخلية القصوى حوالي Co33 (Fo19.4) ويظهر اتفاق معقول بين درجات الحرارة الداخلية المحتسبة والمقاسة.

كما يبين الشكل ٥-٩ (الحميدي ١٩٩٥) درجات الحرارة الداخلية والخارجية المقاسة لغرفة تحكم وغرفة بنظام تبريد برج الدش، حيث لكليهما جدران عالية الكثافة ومعزولة، كما تم قياسها من قبل الحميدي في الرياض، في المملكة العربية السعودية، في ٩ حزيران ١٩٩٤. حيث كانت الحرارة القصوى الداخلية حوالي ٢٨°C (82.4°F) مع درجة حرارة قصوى للهواء الخارجي أعلى من ٤٤°F (111.2°C). ويوضح ذلك، بأن بإمكان هذا النظام توفير تبريد فعال حتى في المناخ الصحراوي الشديد.

إلاأنه لم تتوفر أية معلومات كمية حول التفاصيل الإنشائية للبناء، وبشكل خاص فيما يتعلق بالسطح. ولذلك لم يكن بالإمكان احتساب درجة الحرارة الداخلية المتوقعة.

## التبريد البخاري غير المباشر:

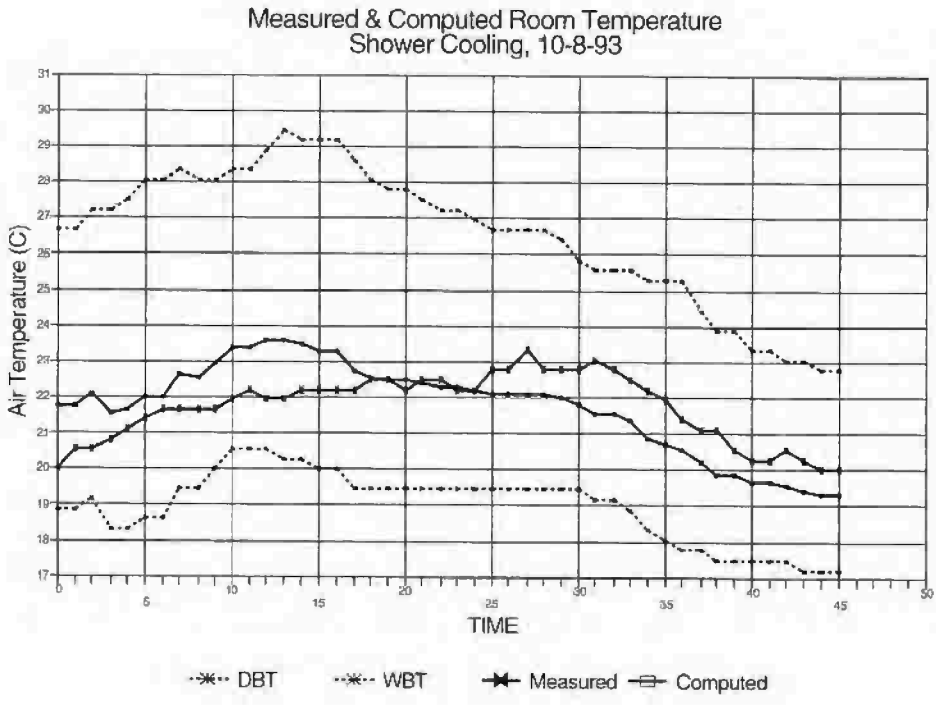
بدلاً من التبريد عن طريق تبخر الهواء مع حجم بخار عالي يتم إدخاله إلى البناء، بالإمكان تبريده بتبخر السطح أو أحد جدران البناء، إما عن طريق وجود بركة مظللة فوق السطح أو عن طريق جدران مرطبة غير نافذة للماء، من خلال انتشار الماء على سطحها الخارجي.

### البرك السطحية:

لقد تم بناء برك سطحية مختلفة واختبارها بمخططات تصميم مختلفة. من بينها:

أ- البركة السطحية المهواة: وهي بركة مع ظل ثابت فوقها، وجريان الريح بين الظل والماء.

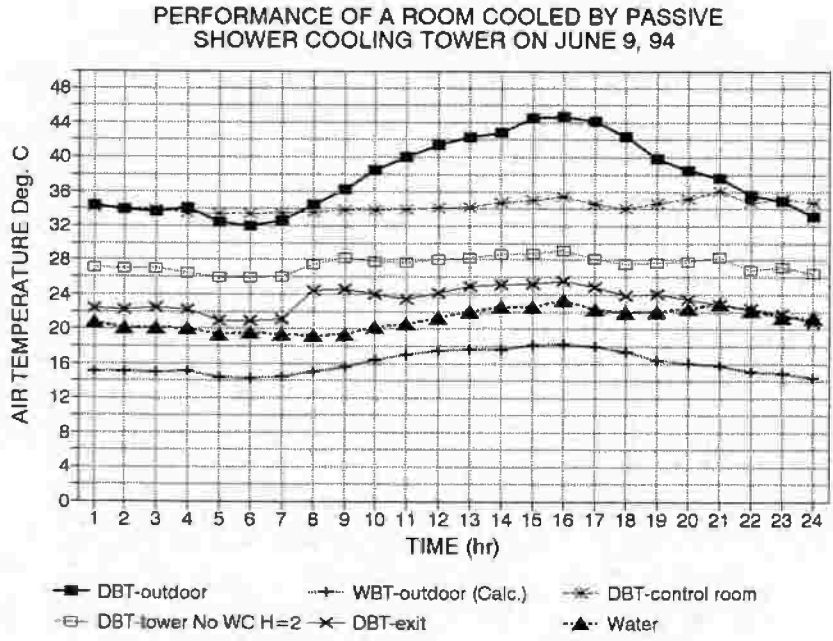
ب - بركة مع عزل عائم: ألواح عزل تعوم فوق الماء، مع انتشار الماء ليلاً فوق العزل (ابتكرها ديك بورن Dick Bourne من دافيس Davis، كاليفورنيا).



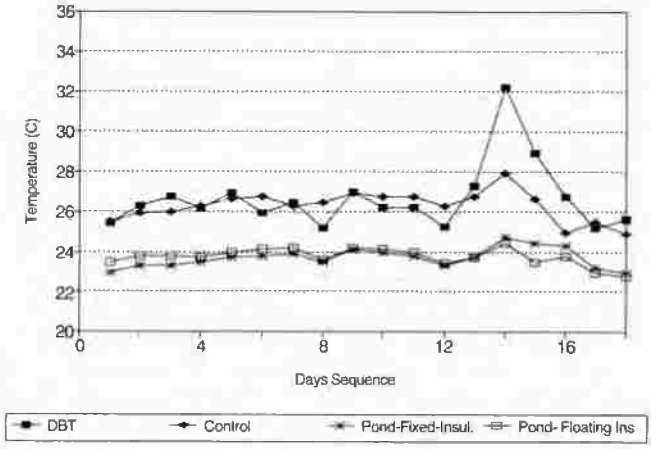

الشكل ٥-٨. درجات الحرارة الداخلية المقاسة والمحتسبة لنموذج الاختبار مع برج تبريد «الدش» في لوس أنجلوس في ٨ تشرين الأول - ١٩٩٢

ت - البركة المعزولة المعبأة بالحصى والمغطاة بالقرميد، مع انتشار الماء ليلاً: وهي بركة تملأ بالحصى، مع طبقة عزل فوق الحصى مغطاة بالقرميد، ومع انتشار الماء ليلاً على القرميد.

ولقد تمت مراقبة أداء التبريد لمختلف البرك السطحية من قبل المؤلف، أو بالاشتراك معه، في العديد من الدراسات في أماكن مختلفة مثل: سيدي بوكير Sede Boger في إسرائيل. لوس أنجلس وساكرامينتو Sacramento في كاليفورنيا. كوليما Colima في المكسيك. والرياض في المملكة العربية السعودية. ويعرض جيفوني ١٩٩٤ هذه الدراسات التجريبية ونتائجها، باستثناء الدراسة التي أجريت في الرياض.




الشكل ٥-٩. درجات الحرارة الخارجية في غرفة كاملة مع برج تبريد «الدش»، والتي قام بقياسها ناصر الحميدي، في الرياض، المملكة العربية السعودية.




الشكل ٥-١٠. معدل درجات الحرارة في نموذج اختيار «للتحكم» مع سطح معزول بشكل كبير وفي نماذج متطابقة مع نوعين من البرك السطحية: بركة مظللة ومهواة، وبركة بعزل عائم.

أ- البركة المهواة والبركة ذات العزل العائم: لقد قام الكاتب باستقصاء أداء غرفتي اختبار، تم تبريدهما باستخدام نوعين من البرك السطحية، في معهد الأبحاث الصحراوية Institute for Desert Research في جامعة بين جوريون Ben Gurion في سيدي بوكير Sede Boqer، إسرائيل. حيث للبركتين نوعين مختلفين: بركة مهواة وبركة مع عزل عائم.

ويبين الشكل ٥-١٠ معدل درجات الحرارة في نموذج «تحكم» ونوعي البرك السطحية، خلال فترة ١٤يوم، مع معدل درجة الحرارة الخارجية (Givoni ١٩٩٤).

ولقد كانت درجات الحرارة الداخلية في نموذجي الاختبار مع نوعي البرك السطحية مستقرة جداً وكان أدائها الحراري متشابهاً جداً، على الرغم من الاختلافات الرئيسة في تفاصيل التصميم وعمليات التبريد. ففي البركة المهواة، يحدث التبريد عن طريق التبخر فقط، والذي يتم ليلاً نهاراً ويستهلك كمية كبيرة من الماء. أما في بركة العزل العائم، يحدث أثر التبريد في الليل فقط، وبشكل رئيسي عن طريق الإشعاع الموجي الطويل الراحل، ويكون استهلاك الماء بالتبخر صغيراً جداً.

ب- البركة الـ Walkable مع انتشار ليلي للماء: لقد قام الكاتب بتطوير هذا النظام بغية تمكين استخدام المساحة فوق البركة السطحية. حيث تملأ البركة بالحصى ويغطيها العزل، كما يدعم بالحصى. ويوضع القرميد فوق العزل من السطح العلوي للسطح ويمكن الاستخدام الطبيعي للسطح. ويجري انتشار الماء فوق القرميد أثناء ساعات الليل.

ولقد تم إدخال هذا النظام واختبار أدائه من قبل الحميدي (١٩٩٥)، في غرفة كاملة في بناء موجود في الرياض، المملكة العربية السعودية. وتمت مقارنته أيضاً مع غرفة «تحكم» في نفس البناء دون تبريد.

ويبين الشكل ٥-١١ نماذج درجة الحرارة النهارية في ٢٧ آب ١٩٩٤. حيث

تراوحت درجة الحرارة الخارجية في ذلك اليوم من 30 - 42 $C^{o}$ (86 - 107,6 $F^{o}$) ، مع معدل حوالي 35 $C^{o}$ (95 $F^{o}$) بينما تراوحت درجة الحرارة الداخلية في غرفة التحكم من 35,5 - 34 $C^{o}$ (93,2 -96 $F^{o}$) وكانت درجة الحرارة الداخلية المتوسطة للغرفة المبردة عن طريق البركة السطحية حوالي 28 $C^{o}$ (82,4 $F^{o}$) متذبذبة بين - 82,2 27-29 $C^{o}$ (80,6 $F^{o}$) ولذلك فقد ثبتت قليلاً تحت درجة الحرارة الخارجية الدنيا.

## قابلية تطبيق التبريد عن طريق البرك السطحية:

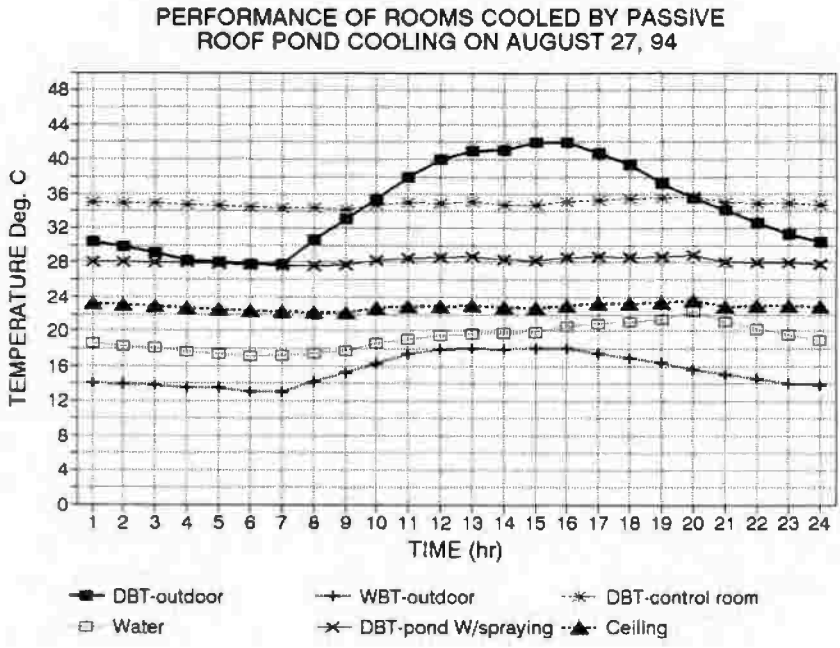
لقد قام (Givoni ١٩٩٤) بتطوير نموذج رياضي لحساب توازن الطاقة لبناء مبرد باستخدام بركة سطحية مهواة، وتنبأ معدل درجات الحرارة اليومية للهواء الداخلي، السقف، وماء البركة تحت أحوال مناخية مفترضة وخاصيات حرارية مفترضة للبناء.

وقد تكون درجة حرارة الماء في أي من هذين النوعين الموصوفين أعلاه للبرك السطحية أعلى بحوالي ١-٣ $K^{o}$ من معدل WBT المحيطة. فعندما يكون السطح مبنياً من مواد تتمتع بقابلية توصيل حراري عالية (الاسمنت أو الأرضية المعدنية)، تعمل بنية الماء والسطح المجتمعة كمخزن متكامل «للبرودة». وقد تكون درجة حرارة السقف، في حالة السطح الاسمنتي فوق بناء معزول جيداً، أعلى بحوالي ٢ $K^{o}$ من درجة حرارة الماء.

وبهذه الطريقة يعمل السطح الأدنى النظام، أي السقف، كلوح تبريد سلبي للحيز أدناه، مبرداً إياه عن طريق الإشعاع والحمل الطبيعي معاً. وهكذا تتم زيادة تبادل الحرارة بين السقف والحيز الداخلي إلى أكبر حد، ممكناً من حدوث التبريد الفعال حتى مع فرق صغير في درجة الحرارة يبلغ حوالي ٢-٣ $K^{o}$ بين الهواء الداخلي والسقف. وعلى أي حال، يكون ارتفاع درجة الحرارة الداخلية فوق مستوى WBT حساساً للمقاومة الحرارية للبناء.

واستناداً إلى هذه الصفات، يقترح إمكانية تطبيق التبريد البخاري غير المباشر في أماكن تكون فيها WBT المتوسطة اليومية 25 $C^{o}$ (77 $F^{o}$) وترمومتر البصلة

الجافة الأعظمي 46°C (115 °F) (DBT) ويعرض جيفوني ١٩٩٤ براهين كمية تدعم هذه الحدود المقترحة.




الشكل ٥-١١. نماذج درجات الحرارة النهارية لغرفة مبردة باستخدام بركة سطحية walkable في الرياض، المملكة العربية السعودية.

## التبريد البخاري غير المباشر عن طريق الجدران المرطبة:

على الرغم من الأداء المؤثر للتبريد السلبي عن طريق البرك السطحية، إلاأن لتطبيقها بعض الحدود العلمية:

أ- لابد أن تكون البرك قادرة على دعم شحنة هامة، وهو عامل يؤثر على تكلفتها.

ب - يكون تطبيق البرك محدوداً على الأبنية المؤلفة من طابق واحد، أو الطابق العلوي فقط من الأبنية المؤلفة من عدة طوابق.

ت - يجب أن تكون مقاومة السطح للماء تامة. فقد يسبب أي شق أو ثقب صغير مشكلات رطوبة (تبلل) كبيرة، كما أنه من الصعب جداً تحديد موقع مثل هذه الشقوق أو الثقوب.

ولقد قادت الأبحاث حول الأداء المؤثر والمشكلات والحدود العلمية المرتبطة بالبرك السطحية إلى تطوير نظام تبريد بخاري جديد غير مباشر وهو: الجدار المرطب غير النافذ للماء.

وتجلت الفكرة في بناء أي جزء من الجدران الخارجية (العمودية) للبناء من مادة غير نافذة للماء تتمتع بقابلية توصيل حراري عالية، كالاسمنت الكثيف والفولاذ المكفن (المؤثر عليه بتيار كهربائي). حيث ينتج جريان الماء على السطح الخارجي، في دائرة مغلقة، أثراً بخارياً لذلك السطح. ويعمل السطح الداخلي للجدار كعنصر تبريد للحيز الواقع خلفه. كما تنقل الحرارة من داخل البناء، عن طريق الحمل والإشعاع، إلى السطح الداخلي المبرد، وبالتوصيل عبر الجدار، إلى السطح الخارجي المرطب.

وبما أن الجدار عمودياً، يكون خطر تسرب الماء أصغر بكثير منه في حالة البركة السطحية، ويمكن تجديد الطبقة المقاومة للماء بسهولة. كما لاتوضع أية شحنة إنشائية ذائدة على الجدار. ولقد تم اختبار شكلين لمفهوم الجدار المرطب من قبل تلميذة الكاتب، وتدعى بربارا اليز Barbara Ellis، في نموذجين حراريين: جدار من القوالب الإسمنتية، وجدار معدني مضلع.

وتضمن اختبار أداء نظام التبريد هذا في مختبر الطاقة في UCLA (Energy Laboratory of UCLA) مراقبة أداء شكلي الجدار المرطب في النموذجين الحراريين: جدار القوالب الإسمنتية، والجدار المعدني المضلع. حيث كان النموذجان خفيفي الوزن جداً ومطليين بالأبيض، وذلك للحد من الاكتساب الشمسي. ولقد قدمت دراسة تصف النظام وتلخص أداءه الذي تم اختباره في مؤتمر Conference PLEA 94' (Givoni and Ellis 1994).

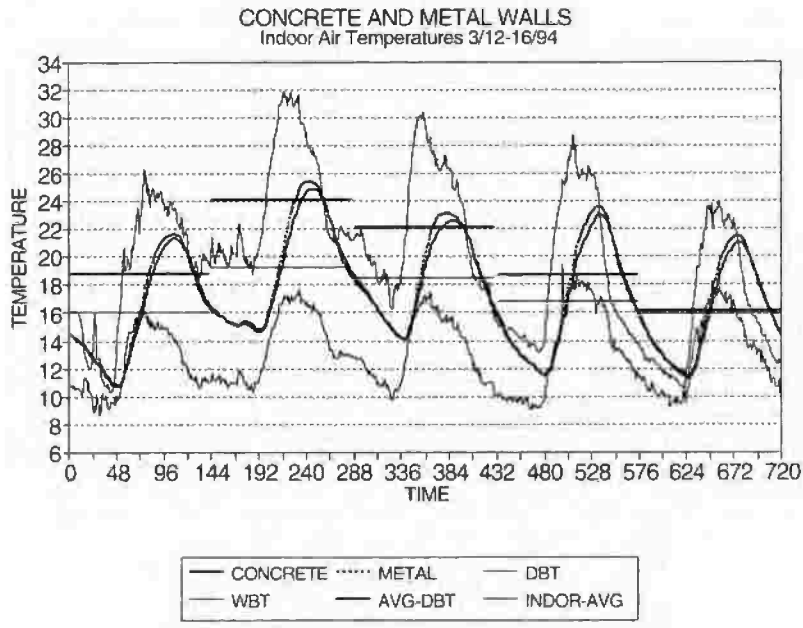
ويبين الشكل ٥-١٢ درجات الحرارة الداخلية النهارية للنموذجين الحراريين المبردين باستخدام نوعي الجدار المرطب خلال عدة أيام. حيث كان أداء الجدارين كنظامي تبريد متطابقاً تقريباً. وكانت الخليتان بكتلة منخفضة جداً، مما أدى إلى تأرجحات نهارية كبيرة نسبياً. ومع ذلك، فقد كان انخفاض درجات الحرارة الداخلية القصوى دون الحرارة الخارجية هاماً، وبشكل خاص في الأيام الحارة. ومع درجة حرارة خارجية قصوى بلغت حوالي 31°C (87.8 °F) في ١٣ آذار ١٩٩٤، و(86 °F) 30.0°C في ١٤ آذار ١٩٩٤، كانت درجات الحرارة الداخلية القصوى للنموذجين حوالي 22,5-25°C (72 - 77 °F) على التوالي.

وفي تقييم ذلك الأداء، لابد أن نأخذ بالحسبان بأن كتلة البناء لاتؤثر بشكل هام على معدل درجات الحرارة الداخلية ولكنها تحد بشكل كبير من تأرجحات درجات الحرارة الداخلية والحرارة العظمى. وبالتالي، قد يكون لخلايا الاختبار أو الأبنية ذات الكتلة الأعلى من تلك المستخدمة في هذه الدراسة درجات حرارة قصوى أدنى في الأحوال المناخية واللون الخارجي ذاته.

كما تعد التطبيقات المحتملة لنظام التبريد هذا أعظم من تطبيقات البرك السطحية، نظراً لإمكانية تطبيقه في الأبنية المؤلفة من عدة طوابق. وبما أن هذا الجدار عمودي، يكون خطر تسرب الماء أصغر بكثير منه في حالة البركة السطحية. كما لاتوضع أية شحنة إنشائية زائدة على الجدار.

## الأرض كمصدر تبريد:

في الأقاليم الحارة حيث تظهر الحاجة للتبريد، تكون درجة الحرارة «الطبيعية» للتربة صيفاً عالية جداً عادة بحيث لايمكن أن تشكل مصدراً للتبريد. وعلى أي حال، فباستخدام وسائل بسيطة جداً، من الممكن خفض درجة حرارة الأرض دون صفات درجة الحرارة «الطبيعية» لموقع مفترض. وبغية تبريد التربة، من الضروري التخلص من تدفئة التربة عن طريق الشمس، بينما يجب تمكين التبريد عن طريق التبخر من سطح الأرض.




الشكل ٥-١٢. درجات الحرارة الداخلية للنموذجين الحراريين المبردين عن طريق نوعي الجدار المرطب من ١٠-١٦ كانون الثاني ١٩٩٤.

وفي الوقت الحاضر قام جيفوني (١٩٨٧ب) بتجريب طريقتين ناجحتين لخفض درجة حرارة الأرض عن طريق تظليلها وتمكين تبخر الماء من السطح. وهما:

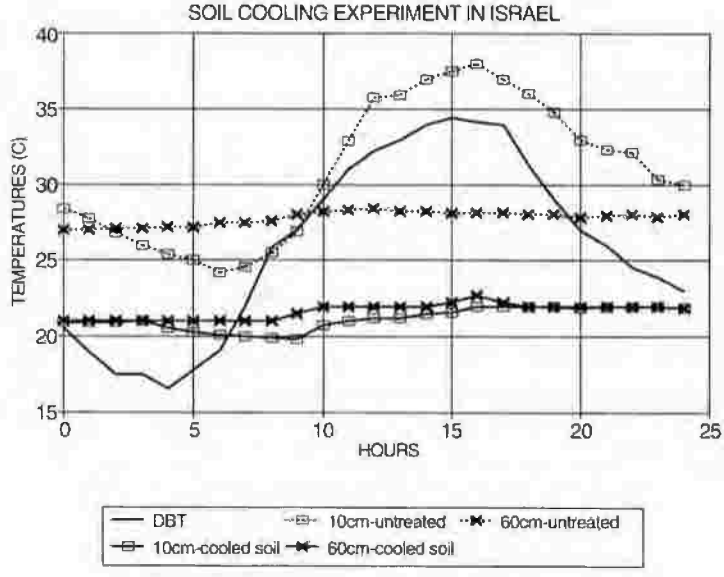
أ- تغطية التربة بطبقة من المهاد، كالحصمة (الحجارة الصغيرة) أو القطع الخشبية، بسماكة على الأقل ١٠سم (٤»)، وسقايتها في الأقاليم التي يكون صيفها جافاً.

ب - رفع البناء عن الأرض وتمكين التبخر من سطح التربة المظلل عن طريق الماء الذي يتوفر إما عن طريق السقاية أو بالأمطار الصيفية.

وحالما يتم خفض درجة حرارة سطح التربة صيفاً، ينخفض أيضاً معدل درجة حرارتها السنوي، بالإضافة إلى درجات حرارة الطبقات الواقعة تحت السطح.

**بيانات تجريبية حول تبريد التربة:**

لقد أظهرت دراسات أجريت في إسرائيل وفلوريدا الشمالية أنه من الممكن خفض درجة حرارة سطح الأرض بحوالي ٨-١٠°K دون درجة حرارة التربة المكشوفة صيفاً. ويبين الشكل ٥-١٣ (Givoni ١٩٩٤) نموذج درجة الحرارة النهارية لتربة مبردة و «طبيعية» في إسرائيل. بينما يبين الشكل ٥-١٤ (Givoni ١٩٩٤) نماذج درجة الحرارة الموسمية لتربة مبردة في تالاهاسي Tallahassee، فلوريدا. كما يظهر هذان الشكلان أنه يمكن أن يصل الفرق بين درجة الحرارة القصوى للهواء الخارجي ودرجة حرارة الأرض المبردة في منتصف فصل الصيف إلى حوالي ١٤-١٦°K في الأقاليم الجافة و١٠-١٢°K في بعض الأقاليم الحارة ـ الرطبة لبناء ما. ومع هذا الفرق في درجة الحرارة، يمكن أن تؤمن التربة sink الحرارة لبناء ما، وبشكل خاص في تبريد هواء التهوية.




الشكل ٥-١٣. نماذج درجة الحرارة النهارية لرقع مبردة ومكشوفة من التربة في الإقليم الصحراوي لإسرائيل. حيث تم تظليل التربة بطبقة من الحصى وإبقاءها رطبة.

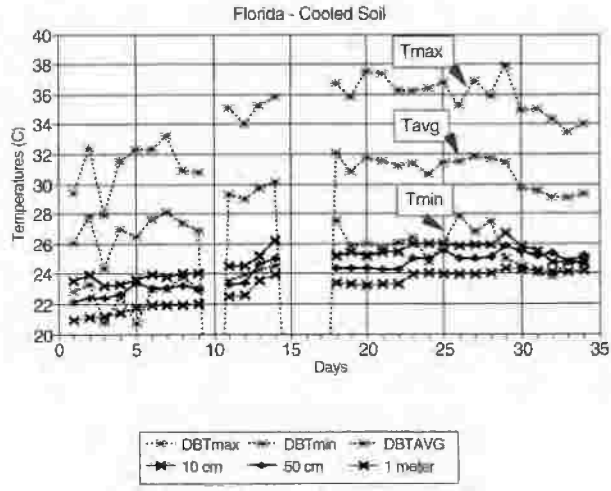
كما يظهر الشكل ٥-١٤ أيضاً حتى أنه في الأقاليم الحارة ـ الرطبة كفلوريدا، من

الممكن تبريد التربة صيفاً إلى مستوى دون درجة الحرارة الخارجية الدنيا. فترات موجات الحرارة المحيطة (٢-٢٩ حزيران و١٧-١٨ تموز مثلاً).

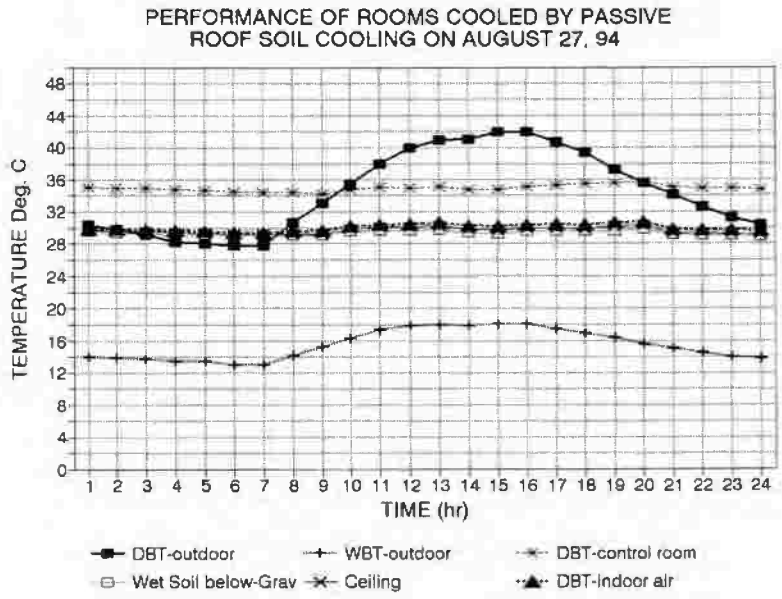
**الأداء المقاس لغرفة بتربة مبردة فوق سطحها:**

لقد قام الحميدي (١٩٩٥) باختبار أداء التبريد لسطح بتربة رطبة مظللة بطبقة من الحصى تبلغ سماكتها ١٠سم (٤")، في غرفة كاملة في بناء يقع في الرياض، المملكة العربية السعودية. كما تمت مقارنته أيضاً بغرفة «تحكم» في البناء ذاته دون تبريد (الحميدي ١٩٩٥).

ويبين الشكل ٥-١٥ نماذج درجات الحرارة التي تم قياسها في ٢٨آب ١٩٩٤. إذ تراوحت درجة الحرارة الخارجية في ذلك اليوم من26- 43°C (78,7 - 109,4°F) بمعدل حوالي 35 °C (95 °F) بينما تراوحت درجة الحرارة الداخلية في غرفة التحكم من 34 - 35,5 °C (96 °F) كما كانت درجة الحرارة الداخلية المتوسطة للغرفة المبردة عن طريق التربة الرطبة المظللة حوالي 30 °C (86°F) متذبذبة بين 29 - 31 °C (84,2 -87,8°F) هكذا فقد استقرت قليلاً فوق درجة الحرارة الخارجية الدنيا، أي دون المعدل الخارجي.




الشكل ٥-١٤. نماذج درجة الحرارة (الصيفية) الفصلية لمنطقتين للتربة في Tallahas-see، فلوريدا، في أعماق مختلفة. حيث ظللت التربة المبردة ببناء مرتفع عن الأرض.




الشكل ٥-١٥. درجات الحرارة النهارية لغرفة مبردة عن طريق سطح بتربة رطبة مظللة بسماكة ١٠سم (٤») من الحصى في الرياض، المملكة العربية السعودية، في ٢٦ حزيران ١٩٩٤ (يوم حار جداً).

## خيارات من أجل استخدام احتمال تبريد الأرض:

عندما تكون درجة حرارة التربة معدلة بشكل كاف، بالإمكان استخدامها لتبريد الأبنية من خلال عدة طرق. ففي حالة الأبنية المدمجة بالأرض، حيث تكون الجدران bermed والسطح مغطى بالأرض، يؤمن تبريد كتلة الأرض المجاورة للبناء تبريد سلبي مباشر عن طريق التوصيل للبناء. وقد تكون هذه الطريقة أكثر ملائمة في الأقاليم الحارة ـ الجافة التي يكون شتاءها لطيفاً. ففي تلك الأماكن، سيكون التبريد المباشر للبناء عن طريق التوصيل فعالاً جداً. أما فيما يتعلق بموضوع توفر الماء، يجب أن نلاحظ أنه عن طريق التظليل الفعال لسطح التربة بطبقة عازلة حرارياً .

ولكنها نافذة للبخار (كتمهيد قشر الخشب)، يمكن تحقيق تبريد فعال للتبريد مع استهلاك أقل بكثير للماء مما قد نحتاجه لنروي مرجاً على سبيل المثال.

أما إذا كان البناء معزولاً جيداً، بالإمكان تغطية السطح فقط مع تربة مبردة كما وصفناه سابقاً. حيث تبرد التربة المبردة عندئذ الحيز تحتها عن طريق التوصيل عبر السطح.

وفي الأقاليم الحارة التي يكون شتاءها بارداً، قد لايكون الربط المباشر بالتوصيل للحيز الداخلي والتربة المحيطة، من خلال الجدران والسطح المتمتعة بقابلية توصيل عالية، مرغوباً إذ يسبب درجة عالية من خسارة الحرارة شتاءً، على الرغم من فعاليته في فصل الصيف.

وتتجلى الطريقة الأخرى، وهي طريقة فعالة، في عزل البناء وإدخال أنابيب للهواء في التربة، ونشر الهواء خلالها من البناء أو هواء التهوية. حيث تعمل الكتلة المبردة للأرض كـ sink للحرارة لتبريد الهواء الذي يعاد توزيعه داخل البناء.

كما يمكن نقل الحرارة إلى التربة المعتدلة بواسطة صف من الأنابيب المصنوعة عادة من البلاستيك، مثل بولي فينيل الكلوريد (PVC). وقد يكون انتشار الهواء الداخلي عبر دائرة مغلقة، أو يكون هواء خارجي يستخدم من أجل التهوية. كما يمكن أن يحافظ انتشار الهواء الداخلي عبر القنوات الهوائية المثبتة في التربة المعتدلة على درجة الحرارة الداخلية أدنى بحوالي ١٠°K معدل درجة حرارة الهواء الخارجي القصوى. وأثناء «موجة الحرارة»، مع درجات حرارية خارجية عالية شاذة، يمكن أن يكون أثر التبريد للقنوات المثبتة في الأرض الأكثر استقراراً أعظم.

# ٦

# الصفات المناخية لأنواع المساكن

**مقدمة:**

يعتمد اختيار نوع البناء لسكن الناس بالطبع على العوامل الاقتصادية والأولويات الاجتماعية الثقافية، وقد يختلف إلى حد كبير بين البلدان والمجتمعات المختلفة مع المناخات المتشابهة. ويطبق هذا أيضاً على المساكن في الأقاليم الحارة، ولذلك فلن نحاول أن ننصح بأي نوع مفترض للمنازل، على الرغم من أننا سنذكر بعض المظاهر الاجتماعية الثقافية لأنواع محددة للمساكن. وإن الموضوع الرئيس الذي يبحث فيه هذا الفصل هو تأثيرات اختيار نوع بناء مفترض على أدائه المناخي.

ولكل نوع من أنواع المساكن كالمنازل المنفصلة لعائلة واحدة، المنازل المتسلسلة المتلاصقة ذات الشكل الواحد، والأبنية الشققية متعددة الطوابق...الخ، أثره الخاص على الراحة الحرارية وإنفاق الطاقة المطلوب لتحقيقها. وعلى الأخص، فإن لمختلف أنواع البناء احتمالات مختلفة لتأمين التهوية المتقاطعة الفعالة، التدفئة الشمسية السلبية، وتطبيق أنظمة التبريد السلبي العديدة. وفي البحث في موضوع التهوية، فإن القضية الرئيسة هي إمكانية توفير فتحات على كل من الجوانب الموافقة لاتجاه الريح والمعاكسة للريح للوحدة، وذلك في نفس الوحدة السكنية.

وبالنتيجة فإن هناك أولويات ومشكلات مناخية بالنسبة لمختلف أنواع الأبنية في مختلف الأقاليم المناخية، وبالإضافة إلى ذلك، فقد يكون لبعض العوامل النفسانية المرتبطة باختيار النموذج المستخدم في مختلف أنواع المنازل، كتكرار استخدام

المناطق المفتوحة المغطاة وغير المغطاة على سبيل المثال، أهمية أعظم في اختيار نوع مفترض للمساكن في الأقاليم الجافة أو الرطبة.

ونناقش في هذا الفصل الأنواع التالية للمساكن:

- المنازل المنفصلة المخصصة لسكن عائلة واحدة.
- منازل البلدة (سلسلة منازل متلاصقة لها نفس الشكل).
- الأبنية الشققية المؤلفة من عدة طوابق.
- الأبنية «البرجية» العالية المؤلفة من عدة طوابق.

ويمكن أن يكون لمعظم أنواع الأبنية ساحات كجزء مكمل لتصميمها. ونناقش بالتفصيل في الصفحة.... الصفات المناخية وتأثيرت الساحات والفسحات المفتوحة على الراحة واستهلاك الطاقة.

## المنازل المنفصلة المخصصة لسكن عائلة واحدة:

تعد النازل المنفصلة المخصصة لسكن عائلة واحدة، من منظور الحاجة للطاقة، الأكثر حاجة للطاقة عند تدفئتها أو تكييفها بالهواء، نظراً للمساحة السطحية الكبيرة نسبياً لمغلفها، وبشكل خاص مساحة سطحها النسبية الأكبر. ومن جهة أخرى، فقد تقدم الفرص الأفضل للتهوية الطبيعية، بحيث تحد من الحاجة للتكييف الهوائي إلى أدنى حد. وبالإضافة إلى ذلك، فقد يكون لها الاحتمال الأكبر بالنسبة لاستخدام الطاقة الشمسية للتدفئة. وهكذا فقد يحد المنزل المنفصل المخصص لسكن عائلة واحدة الحاجة للتبريد، أو للتدفئة بالوقود التقليدية.

وينشأ هذا الاختلاف في الأداء جزئياً بسبب الدور الخاص الذي يلعبه السطح من منظور الطاقة، وبشكل خاص عند خطوط العرض المنخفضة حيث يكون ارتفاع الشمس عالياً، وخصوصاً في الأقاليم الصحراوية. وبوجود مختلف خيارات التصميم، من الممكن بناء أسطح بتأثيرات مختلفة جداً على الأداء الحراري للأبنية.

والسطح هو السطح الأكثر تعرضاً للعناصر المناخية في البناء، مثل الإشعاع الشمسي في الصيف أثناء النهار والخسارة الإشعاعية إلى السماء ليلاً. وبالنتيجة تشهد المنازل الاعتيادية المخصصة لسكن عائلة واحدة، حيث يشكل السطح جزءاً كبيراً من مغلف البناء، احتمالاً أكبر لاكتساب الحرارة صيفاً وخسارتها شتاءً مقارنة مع الأنواع الأخرى للأبنية.

وعلى أي حال، فالسطح أيضاً هو عنصر البناء الذي يمكن عزله، في العديد من أنواع الأبنية، إلى مستوى أعلى من المقاومة الحرارية من الجدران عن طريق مواد بناء وتكنولوجيات بسيطة نسبياً. وهكذا يحد هذا العزل من دوره النسبي في حاجة البناء ككل للطاقة.

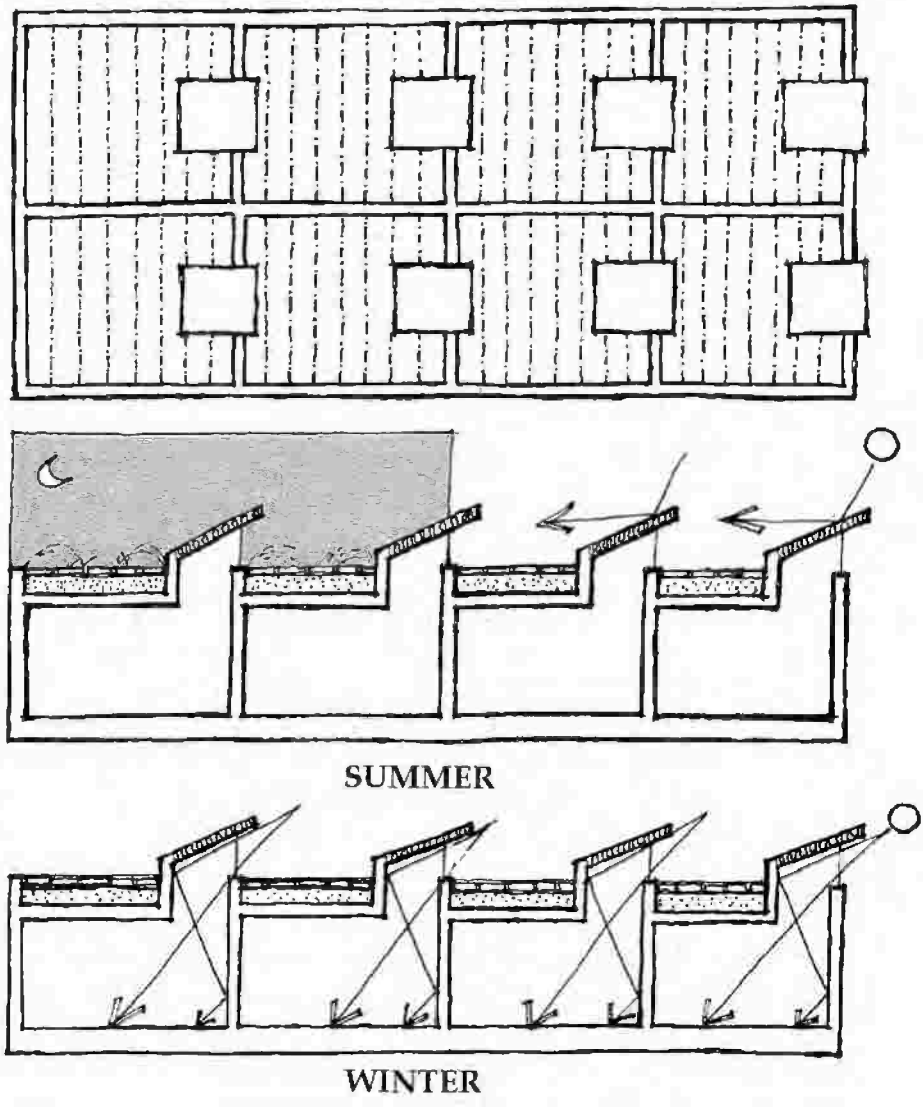
وعلاوة على ذلك، فعندما يتعلق الأمر بالتبريد و/أو التدفئة الشمسية، قد يشكل السطح عنصراً مفيداً في البناء للسماح بدخول الطاقة الشمسية من خلال -moni tors (انظر الفصل الخامس)، كما هو موضح في الشكل ٦-١.

ويبين الشكل مخطط لاستخدام جزء من السطح (حوالي ١٠٪ من مساحته) من أجل الإضاءة النهارية على مدار السنة وكمصدر للاكتساب الشمسي المباشر شتاءً، وذلك من خلال monitors السطح المواجهة للجنوب. بينما يمكن تغطية باقي مساحة السطح المستو ببركة سطحية مع عزل عائم بهدف الحصول على التبريد التبخري غير المباشر صيفاً.

وعندما ندرك هذه الاحتمالات، يتم تحويل السطح من منطقة مستهلكة للطاقة إلى مصدر للطاقة.

وينتج الاحتمال الجيد للمنازل المنفصلة بالنسبة للتهوية الطبيعية عن إمكانية وجود نوافذ وأبواب قابلة للفتح في جميع جوانب البناء، على الأقل في أربعة اتجاهات. وبقدر ما يمكن الترتيب الداخلي للغرف، القواطع، والأبواب الداخلية من تدفق الهواء من خلال الغرف العديدة للبناء، يوجد احتمال للحصول على تهوية

طبيعية في أي اتجاه للريح، كما يوضح الشكل ٦-٢. ولذلك تعد المنازل المنفصلة الأقل حساسية لتكييفها من منظور التهوية.




الشكل ٦-١ سطح مستو مع تدفئة شمسية مباشرة شتاءً عن طريق monitor سطحي وتبريد سلبي صيفاً عن طريق بركة سطحية مع عزل عائم.

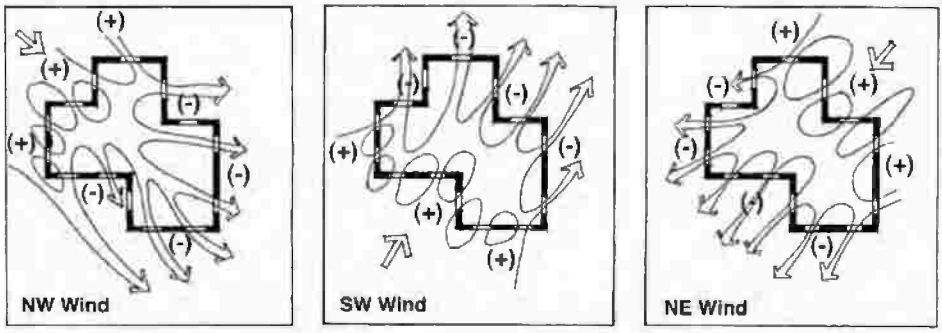
ويعتمد إدراك احتمال التهوية الطبيعية على توفر الريح في موقع البناء الذي يعتمد، مع حالة ريح إقليمية مفترضة، بالتالي على تفاصيل التصميم العمراني، كما سنناقش في الفصل الثامن.

كما ينشأ الاحتمال الجيد للمنازل المنفصلة بالنسبة للتدفئة الشمسية السلبية من حقيقة مواجهة أحد الجدران الخارجية لشمس الشتاء. ويعتمد إدراك هذا الاحتمال أيضاً على التصميم العمراني، واسمياً على منع حجب الجدار والنوافذ المواجهة للشمس بالجوار إلى الجانب المشمس.

وتمكن المنازل المنفصلة المقيمين فيها من استخدام الأرض المحيطة بالمسكن للعديد من الأنشطة الوظيفية والمنزلية الخارجية. ففي جميع أنواع المناخات الحارة، تكون الأحوال المناخية الخارجية في بعض الفصول مريحة أكثر من الأحوال الداخلية. كما يضيف احتمال القيام بالنشاطات الخارجية في الجوانب الأربعة للبناء إلى الميزات المناخية للمنازل المنفصلة المخصصة لسكن عائلة واحدة، استناداً إلى المساحات المظللة و/أو المغطاة المتوفرة. ولهذه النقطة أهمية خاصة بالنسبة للعائلات ذات الدخل المحدود التي تنجب العديد من الأولاد، والتي يمكن أن تمتلك مساكن صغيرة جداً وتتوفر لديها الإمكانية لدفع أجور عالية للاستفادة من التكييف الهوائي.

وبسبب مواجهة الجدران الخارجية للمنازل المنفصلة المخصصة لسكن عائلة واحدة لأربعة اتجاهات على الأقل، تعد هذه المنازل أقل حساسية تجاه أثر تكييفها، على الرغم من أنه لاتزال تظهر مشكلة في اختيار تكييف الغرف المختلفة، وبشكل خاص تكييف النوافذ الكبيرة. وهكذا، تمنح المنازل المنفصلة حرية أكبر للمصمم العمراني، من المنظور المناخي.

أما من منظور استخدام الطاقات الطبيعية، يمكن للمنازل المخصصة لسكن عائلة واحدة أن تحقق استخداماً جيداً للمساحة الأرضية تحت وحول المنزل كعنصر تبريد (انظر الفصل الخامس) أو للخزن الحراري على مقياس أكبر مما هو ممكن في الأبنية الشققية المؤلفة من عدة وحدات وعدة طوابق.



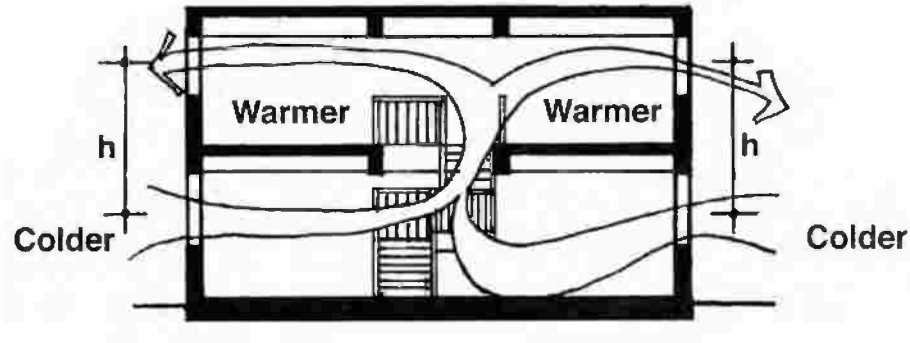

الشكل ٦-٢. يمكن حصول المنزل المنفصل المخصص لسكن عائلة واحدة على تهوية متقاطعة فعالة في أي اتجاه للريح.

## منازل البلدة (سلسلة المنازل المتلاصقة ذات الشكل نفسه):

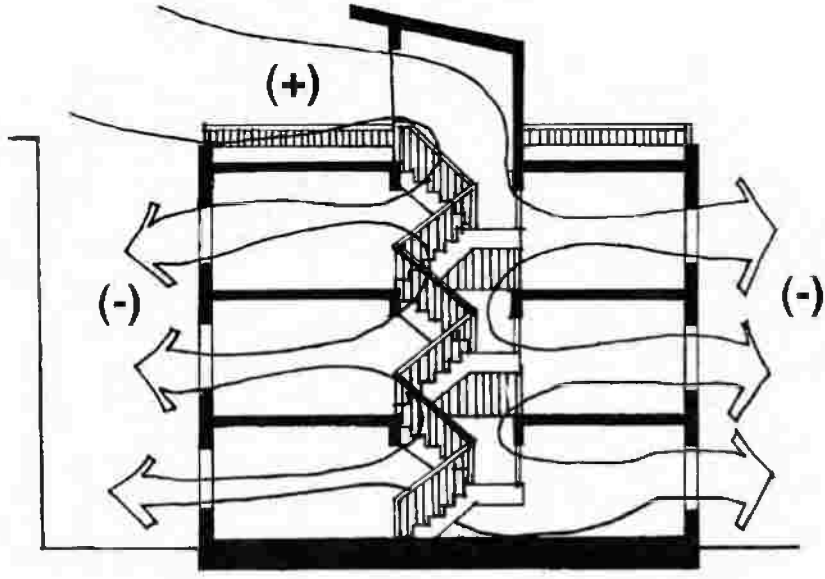
ومنازل البلدة، أو المنازل المتلاصقة ذات الشكل نفسه كما تسمى في بعض البلدان، هي عبارة عن صف من الوحدات السكنية، بعلو طابق إلى ثلاثة طوابق، متصلة ببعضها البعض بجدرانها الجانبية. ولذلك فهي تشكل سلسلة مستمرة. وتحتل كل وحدة القسم العمودي الكلي للبناء، من الأرض إلى السطح.

ويعطي الدمج الوظيفي لمختلف الطوابق في وحدة سكنية واحدة تحت ملكية واحدة منازل البلدة بعض الصفات الخاصة من المنظور المناخي ومفهوم أداء الطاقة. أما من منظور التهوية، يسهل الارتفاع الفعال بشكل كبير «أثر المدخنة» في التهوية الطبيعية الـ thermosyphonic، وبشكل خاص أثناء الساعات التي تكون فيها الريح هادئة كما يبين الشكل ٦-٣. وعندما يقود سلم إلى السطح مع غرفة تشغيل

(دخول)، يمكن استخدامه أيضاً لـ «ملتقط الريح»، كما هو وضح في الشكل ٦-٤، للاستفادة من سرعات الريح الأعلى فوق مستوى السطح.




الشكل ٦-٣. تهوية أثر المدخنة لمنزل بلدة مؤلف من طابقين أثناء الساعات التي تهدأ فيها الريح، والشائعة فى الليل.




الشكل ٦-٤. منزل بلدة مؤلف من ثلاثة طوابق، مع سلم مفتوح يقود إلى السطح الذي يعمل كملتقط للريح.

تجمع منازل البلدة بعض ميزات كل من الأبنية الشققية متعددة الطوابق (مساحة أصغر للجدران الخارجية) والمنازل المخصصة لسكن عائلة واحدة (خيارات تدفئة شمسية وتهوية طبيعية)، من منظور الطاقة. أما فيما يتعلق بالمساحة السطحية للمغلف، تكون منازل البلدة بين المنزل المنفصل والوحدات الشقية. فلكل وحدة سكنية سطحها الخاص ومساحتها الخاصة تحت الأرض، بالإضافة إلى جزء من الأرض المتصلة بها. وعندما تشترك الوحدات المتجاورة بجدار مشترك، تكون مساحة الجدار الإجمالية المكشوفة أقل منها في المنازل المخصصة لسكن عائلة واحدة مع نفس عدد الطوابق.

ولجميع المساكن اتجاهين خارجيين على نحو هام باستثناء الوحدات الطرفية. ومع وجود عوائق ونتوءات مصممة معمارياً بالنسبة لنختلف الوحدات، بالإمكان توفر أربعة اتجاهات مكشوفة فعالة لكل وحدة. إذ تزيد مثل هذه النتوءات من المساحة السطحية للمغلف ولكنها قد تحسن بشكل مادي احتمال التهوية الطبيعية عندما يكون اتجاه الريح موازياً تقريباً للواجهات الطويلة للبناء.

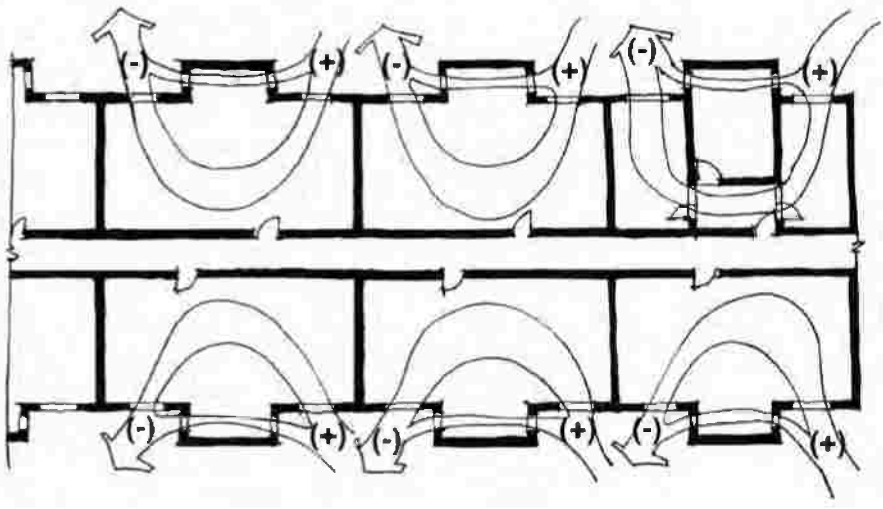
فعلى سبيل المثال، عندما تأتي الريح السائدة من الغرب، تتذبذب عادة بين الغرب ـ الجنوب الغربي والغرب ـ الشمال الغربي. وسيشهد بناء مطول مع واجهات ونوافذ رئيسية نحو الشمال والجنوب احتمالاً ضعيفاً للتهوية بسبب زاوية السقوط الصغيرة جداً للريح على الجدار. وعلى أي حال، تخلق النتوءات تجاويف للضغط العالي والمنخفض، ولو توفرت الفتحات عندها سيتحسن احتمال التهوية بشكل ملحوظ، كما يوضح الشكل ٦-٥.

أما فيما يتعلق بمعظم المظاهر التي ناقشناه سابقاً، تشبه منازل البلدة المنازل المخصصة لسكن عائلة واحدة. إلاأن هناك استثناء مهم يتجلى في الحساسية تجاه التكييف. فباعتبار الوحدات مصطفة في سلسلة، يكون التكييف وفقاً للشمس أمراً أكثر حساسية منه في حالة المنزل المنفصل.

وبقدر ما يتعلق الأمر باستخدام الطاقة الشمسية، إما لتدفئة الحيز و/أو من أجل الحصول على الماء المنزلي الساخن، يجب أن يكيف العنصر المجمع الشمسي

للبناء باتجاه شمس الشتاء، أي اسمياً باتجاه خط الاستواء عند خطوط عرض أعلى من حوالي ٢٠درجة. أما عند خطوط عرض أدنى، في الأقاليم الاستوائية والمدارية في ارتفاع عالي، يمكن استخدام الطاقة الشمسية بشكل أفضل من قبل الجدران والنوافذ الشرقية والغربية، بينما تتلقى الجدران الشمالية والجنوبية مقدار قليل جداً من أشعة الشمس في الشتاء. ويعد التظليل الفعال في الصيف غاية في الأهمية في هذه الحالة في الصيف.

وللوحدات في منازل البلدة، باستثناء ما يتعلق بالوحدات الطرفية، أرض متصلة بها فقط أمام الجدارين الخارجيين. ولذلك تكون الأوقات التي تتوفر فيها المناطق الشمسية والمناطق المظللة صيفاً للقيام بالنشاطات الخارجية محدودة أكثر مما تكون في حالة المنازل المنفصلة المخصصة لسكن عائلة واحدة. وبأي حال، يمكن أن تقدم منازل البلدة فرصاً يمكن تقديرها لاستخدام الأرض المتصلة، مقارنة مع جميع أنواع المساكن الأخرى التي تسكن فيها عدة عائلات.




الشكل ٦-٥. تخلق النتوءات المعمارية من واجهة مستوية مناطق مميزة للضغط العالي والمنخفض عندما تسقط الريح بزاوية صغيرة جداً على الجدران، مقدمة احتمال لحدوث التهوية المتقاطعة الفعالة.

ومن منظور التصميم العمراني، فإن الميزة الرئيسة لمنازل البلدة هي الكثافات العمرانية الأعلى التي تمكنها، مقارنة مع المنازل المنفصلة المخصصة لسكن عائلة واحدة، بينما لاتزال تحافظ على معظم المميزات الوظيفية والاجتماعية للمنازل المخصصة لسكن عائلة واحدة.

وفي هذه الحالات، عندما يرغب بالكثافة السكانية الأعلى ـ بهدف تقصير طول الطرق، الماء، خطوط المجاري، وغيرها على سبيل المثال، ومسافة السير إلى الخدمات المتعددة ـ قد تتألف منازل البلدة من طابقين أو حتى ثلاثة طوابق. ومع مثل هذا التصميم، يمكن الحصول على كثافات جوار قريبة مما يمكن الحصول عليه في المنازل الشققية المؤلفة من عدة طوابق، عندما تباعد هذه المنازل بمسافات كافية بينها من أجل التهوية والانتفاع الشمسي.

## الأبنية الشققية المؤلفة من عدة طوابق:

تصبح الأبنية الشققية المؤلفة من عدة طوابق مع التمدين الموسع والضغط الكلفة المتزايدة على الأرض العمرانية، نوع المساكن الأكثر شيوعاً في معظم البلدان النامية والمتطورة على حد سواء.

كما يمكن أن يكون للأبنية الشققية متعددة الطوابق مخططات تصميم متعددة تتمتع بخاصيات مختلفة تماماً، من منظوري الراحة واستخدام الطاقة. ولذلك، ففي هذا النوع للمنازل، يمكن أن تجعل قرارات التصميم الرئيسة البناء ملائماً أو غير ملائم جداً بالنسبة للمناخ.

أما من المنظور الحراري، للأبنية الشققية متعددة الطوابق مساحة سطحية لمغلفها أضغر منها في الأنواع الأخرى للأبنية السكنية. وبالتالي فعندما تتم تدفئة البناء أو تكييفه بالهواء، يتم الحد من الحاجة للطاقة لكل وحدة سكنية للبناء، بالنسبة لخاصية حرارية مفترضة للمغلف. ويطبق هذا بشكل خاص على الوحدات «الداخلية»، التي تجاورها وحدات أخرى في كل جانب، وفوقها وتحتها.

ولذلك، فسوف يحد أي شكل للبناء يزيد من العدد النسبي للوحدات الداخلية، مثل الأبنية المؤلفة من عدة وحدات سكنية حيث يعادل طول الكتلة ارتفاعها. بشكل تقريبي، من متطلبات الطاقة الحرارية الكلية.

وعلى أي حال، يطبق جميع ما ذكرناه أعلاه فقط في الوقت الذي تتم فيه تدفئة البناء أو تكييفه بالهواء عن طريق استخدام مصادر الطاقة التقليدية. وفي بعض أنواع الأبنية السكنية المؤلفة من عدة طوابق، لاتتوفر فرص التهوية الطبيعية، والتي يمكن أن تزيل الحاجة للتكييف الهوائي أو تحد من الوقت الذي تظهر فيه الحاجة الملحة له.

وعلاوة على ذلك، فقد يكون للشقق متعددة الطوابق ببعض أنواعها احتمال أقل من أنواع الأبنية الأخرى بالنسبة لاستخدام الطاقة الشمسية لتدفئة الحيز والماء المنزلي الساخن.

ووفق اعتبارات التصميم العمراني الكلية، لابد أن نشير إلى أن الأبنية الشققية متعددة الطوابق تمكن من الحصول على كثافات سكانية أعلى. ويحد هذا العامل عادة من طول مرافق البنية التحتية مثل الطرق، خطوط المياه، والمجاري، الخ....

وقد تمثل الكثافة العمرانية العالية بعض التحديات في التصميم بالنسبة لكل من التهوية الطبيعية واستخدام الطاقة الشمسية.

ولتمكين التدفئة الشمسية في الشتاء، يجب أن تتبع الأبنية متعددة الطوابق تكييفاً دقيقاً. ونظراً لصغر مساحة السطح لهذه الأبنية نسبياً، يعد الجدار المواجه لشمس الشتاء (الجدار الجنوبي في نصف الكرة الشمالي) العنصر الرئيس في البناء لجمع الطاقة الشمسية. إذ سيحد أي انحراف هام عن التكييف الشمسي من الطاقة الشمسية المتوفرة.

ومع الكثافة العمرانية العالية، يجب الاهتمام بمنع حجب البناء ببناء آخر عالي إلى جنوبه. إذ توجد مساحة أرضية أكبر بين الأبنية في نوع الأبنية الشقيية متعددة الطوابق. وهذه الأرض «شائعة» في العديد من النواحي وتبقى دون «مسؤولية» شخصية فردية. ويعتمد تأثير هذا العامل على معاملة الأرض، والخاصية البيئية الناتجة، على الصفات البيئية الثقافية للسكان.

وفي بعض المجتمعات، قد تؤدي العناية المشتركة بالأرض بين الأبنية إلى معاملة أفضل للأرض. ومن ناحية أخرى، قد تؤدي العناية المشتركة بالأرض المفتوحة في بعض المجتمعات إلى الإهمال، تراكم الغبار، وتعرية الريح. وقد يكون هذا الإهمال ناتجاً عن الافتقاد إلى المصادر الشخصية و/ أو الثقافة البيئية.

أما في الأقاليم الجافة والصحراوية، تعد العناية بالأرض المفتوحة أغلى وأكثر صعوبة نظراً للكلفة العالية وعدم توفر المياه في بعض الأحيان، وهو عامل يزيد من احتمال الإهمال.

ويحظى موضوع صيانة المساحات المفتوحة العمومية بأهمية خاصة في العديد من البلدان النامية في الأقاليم الجافة، حيث تجعل قلة سقوط الأمطار الري هاماً جداً بينما قد تفتقد الحكومات المحلية والسكان إلى المصادر المالية والثقافة البيئية للعناية بالمساحات العمومية. كما تؤدي الرغبة بتقليد مظهر المتنزهات التقليدية في الأقاليم ذات المناخ المعتدل بالتالي إلى «عدم امتلاك الأرض من قبل أي شخص no mans land».

### أنواع الأبنية الشققية المؤلفة من عدة طوابق:

يمكن تقسيم الأبنية الشققية المؤلفة من عدة طوابق إلى نوعين رئيسيين، من منظور الأداء المناخي، وأن يقسم كل منهما فرعياً إلى نوعين فرعيين. أما النوعين الرئيسيين فهما:

أ- أبنية مع ممرات طويلة تتيح الدخول إلى الوحدات الممتدة على طولها. ويتاح الوصول العمودي إلى الممرات إما عن طريق السلالم أو المصاعد.

ب - أبنية مع سلالم أو مصادر تؤمن الدخول المباشر إلى وحدتين، أو ثلاث، أو أربع.

أما النوعين الفرعيين للأبنية التي تدخلها عن طريق الممرات فهما:

أ١- بناء مع ممر داخلي، يتيح الوصول إلى الوحدات على جانبيه (ممرات dou-ble-loaded).

أ٢- بناء مع ممر خارجي يقع على طول جدار واحد للبناء (ممرات single-loaded).

أما النوعين الفرعيين للأبنية التي تدخلها بشكل مباشر (من منظور الأداء المناخي) فهما:

ب١- سلالم أو مصاعد متعددة تخدم شقتين في كل طابق.

ب٢- سلالم أو مصاعد تخدم أكثر من وحدتين في كل طابق.

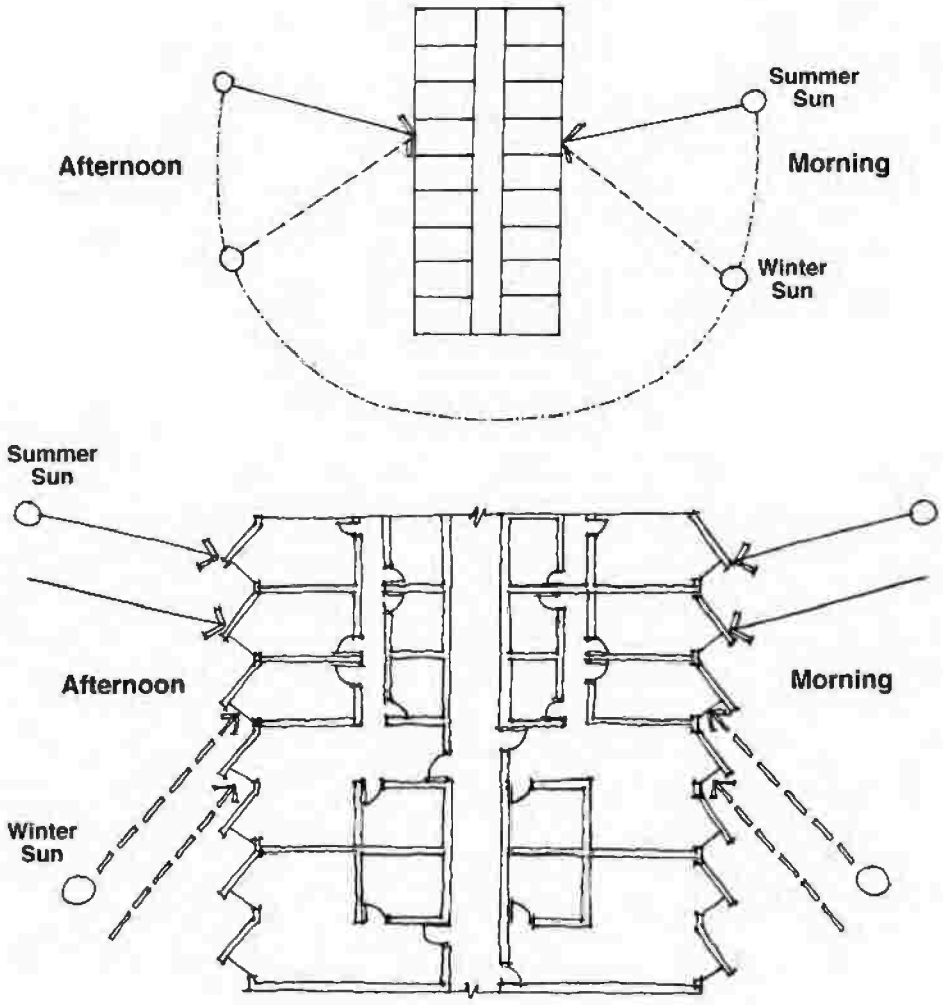
**أبنية الممرات الـ** double-loaded

تشيع الأبنية الشققية الطويلة مع ممرات double-loaded مركزية في العديد من المشاريع المساكن متعددة الطوابق في الولايات المتحدة. إذ يكون لمثل هذه الأبنية المساحة الأصغر للجدران الخارجية لجميع أنواع الأبنية. ولذلك، فعندما تتم تدفئة هذه الأبنية وتكييفها بالهواء آلياً، تكون حاجتها للطاقة الأقل. وعلى أي حال، يكون الأداء المناخي لمثل هذه الأبنية مختلفاً تماماً عندما يتعلق الأمر بالتهوية الطبيعية و/أو استخدام الطاقة الشمسية.

وفي أبنية الممرات الـ double-loaded، توضع الممرات في مركز الكتلة، متيحة الدخول إلى الوحدات المسكونة على الجانبين. ولذلك يفصل الممر الوحدات السكنية للبناء إلى مجموعتين مع أحوال تعرض مختلفة تماماً. إذ يكون لمعظم الوحدات، باستثناء الوحدات الطرفية، جدار خارجي واحد فقط. وكنتيجة لذلك لاتتمتع جميع هذه الوحدات تقريباً حتى باحتمال التهوية المتقاطعة الفعالة. وينبغي أن تستخدم هذه الشقق بشكل عام، وخاصة في الأقاليم التي يكون صيفها حاراً، التكييف الهوائي الآلي معظم فصل الصيف، وحتى في الأماكن والفصول حيث يمكن أن تؤمن التهوية الطبيعية راحة داخلية مرضية.

أما من مفهوم استخدام الطاقة الشمسية وأشعة الشمس المباشرة لتدفئة الحيز، لايكون هناك على الدوام فائدة من نصف الوحدات في الأبنية مع الممرات الـ dou-ble-loaded إلى أن يكيف اتجاه البناء على طول المحور الشمالي ـ الجنوبي بحيث يستقبل الجدار والنوافذ الشرقية أشعة الشمس في الصباح ويتلقاها الجدار والنوافذ الغربية في فترة ما بعد الظهر. ويمكن لشكل خاص للنوافذ، وهي النوافذ «الكستنائية اللون» المثلثية المواجهة للجنوب الشرقي والجنوب الغربي، أن تزيد من الاكتساب الشمسي في الشتاء إلى أكبر حد، بالنسبة لمساحة مفترضة للنافذة، وتحد التدفئة الشمسية المفرطة صيفاً، كما هو مبين في الشكل ٦-٦.

أما عندما يوجه البناء على طول المحور الشرقي ـ الغربي، يمكن أن تستفيد الوحدات الجنوبية من الشمس شتاء بينما لاتستقبل الوحدات الشمالية أشعة الشمس من أيلول إلى آذار. ويخلق هذا فروق كبيرة جداً بين الوحدات السكنية في كلاالاتجاهين في الأداء الحراري والإمكانيات المتاحة للسكان للاستفادة من أشعة الشمس في فصل الشتاء.




الشكل ٦-٦. النوافذ «الكستنائية اللون» المثلثية في الجدران الشرقية والغربية، المواجهة للجنوب الشرقي والجنوب الغربي، على التوالي، والتي تزيد من الاكتساب الشمسي شتاءً وتحد من التدفئة الشمسية المفرطة صيفاً.

وبالنظر إلى صفات الأداء المناخي المذكورة سابقاً لأبنية الممرات الـ double-loaded، يمكن اعتبارها غير مناسبة من مفاهيم التهوية الطبيعية، الراحة، واستخدام الطاقة الشمسية، في أي مناخ حار، وبشكل خاص بالنسبة للسكان ذوي الدخل المحدود الذين لاتتوفر لديهم الإمكانية لاستخدام التكييف الهوائي.

وهناك استثناء هو نوع الممر الـ double-loaded الذي قام بتطويره وتطبيقه لي كوربوسيير Le Corbusier في فرنسا. ففي هذا المخطط يوضع ممر مركزي لكل ثلاثة طوابق، ويخدم كل «جزء» منه وحدتين، تحتل كل منهما مستويين، أحدهما على مستوى الممر والآخر فوق أو تحت ذلك المستوى. ويوضح الشكل ٦-٧ هذا المخطط. وفي مثل هذا التصميم، يكون لكل وحدة اتصال مباشر بجدارين خارجيين على الجانبين المعاكسين للبناء، ولذا تتمتع باحتمال التهوية المتقاطعة، بالإضافة إلى استخدام الطاقة الشمسية.

وعلى أي حال فلابد من الإشارة إلى أنه في الأقاليم الباردة، وبالنسبة للأبنية التي لاتستخدم الطاقة الشمسية، قد تكون الأبنية ذات الممرات الـ double-loaded الأكثر حفظاً للطاقة.

### أبنية الممرات الـ single-loaded

توضع الممرات في الأبنية الـ single-loaded على طول أحد جدران البناء. ولذلك تحصر كل شقة في جانب واحد من خلال الممر وعلى الجانب الآخر من خلال الجدار الخارجي. وربما يكون الممر زجاجياً ويتم إغلاقه أثناء الشتاء وفتحه صيفاً، متيحاً بذلك خيار التعرض للرياح في أي جانب للبناء.

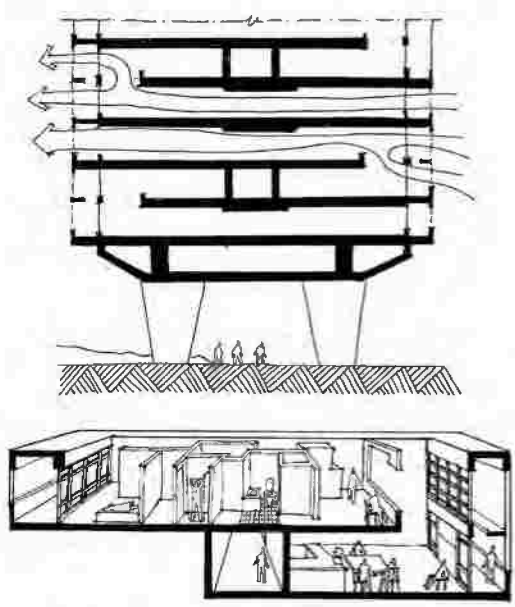
وتعد التهوية المتقاطعة ممكنة نظرياً في الشقق الواقعة على طول ممر مفتوح بترك النوافذ مفتوحة في الجدار الخارجي بالإضافة إلى النوافذ والأبواب في الجدار المواجه للممر. أما من الناحية العلمية، على أي حال، يحد ترك الأبواب مفتوحة في جدار الممر بشكل كبير من الخصوصية البصرية والسمعية للسكان.

ويمكن أن تحل قضية الخصوصية البصرية عن طريق إدخال مصاريع في الفتحات التي تمكن من مرور الهواء بينما تمنع الرؤيا، أو عن طريق وجود عتبات للنافذة تماماً فوق خط الرؤيا. أما الخصوصية السمعية على أي حال فلايمكن تأمينها مع الأنواع الشائعة لأبنية الممرات الـ single-loaded بينما تتم التهوية المتقاطعة للبناء وقد يتسبب إنزعاج السكان بالضجيج الذي يتولد في الممر ويمكن للناس الذين يعبرونه سماع ما يجري في الداخل.

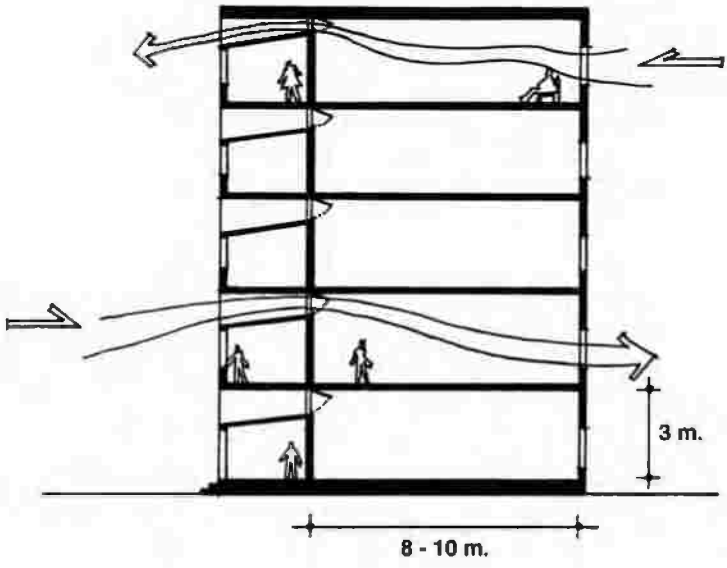
وتعتمد الشدة الموضوعية لهذه القضية إلى حد كبير على لخلفية الثقافية للسكان ويمكن أن تختلف بشكل كبير بين المجتمعات المختلفة. وبأخذ احتمال التهوية المتقاطعة في تلك الأبنية بالحسبان، يمكن أن تكون الأبواب المفتوحة أو المصاريع مقبولة في الأقاليم الحارة حيث تعد شروط الخصوصية السمعية مقبولة ثقافياً.

ويمكن تأمين حل جذري أفضل لهذه المشكلة عن طريق تفاصيل خاصة تمكن التهوية المتقاطعة دون فقدان الخصوصية السمعية، والبصرية فعلى سبيل المثال، إذا كان ارتفاع سقف الغرف حوالي ٣م (١٠») ولكن ارتفاع سقف الممرات حوالي ٣.٢م (٧» ٨»)، بالإمكان تأمين ممر هوائي فوق الممرات عن طريق سقف كاذب، ممكناً جريان الهواء عبر الشقق إلى الجانب الآخر للبناء، كما يوضح الشكل ٦-٨.

وهناك حل تقيمي آخر من أجل ضمان الخصوصية البصرية على الأقل لسكان الشقة في أبنية الممرات الـ single-loaded يتجلى في خفض مستويات الممرات حوالي نصف متر (١.٦٤») دون مستويات الشقق، مع سلالم تقود إلى المساكن الفردية، كما هو مبين في الشكل ٦-٩، وتعد تهوية مثل هذه الأبنية حساسة لتكييف اتجاه البناء. فعلى المصمم أن يضمن مواجهة إحدى واجهات البناء (ومن الأفضل أن تكون الواجهة «الأمامية»، المعاكسة للممر) اتجاه الريح السائدة بزاوية تزيد عن حوالي ٣٠درجة.



الشكل ٦-٧. مخطط Le Corbusier لبناء شقي :double-loaded حيث لكل وحدة جدارين خارجيين، مما يمكن حدوث التهوية المتقاطعة.

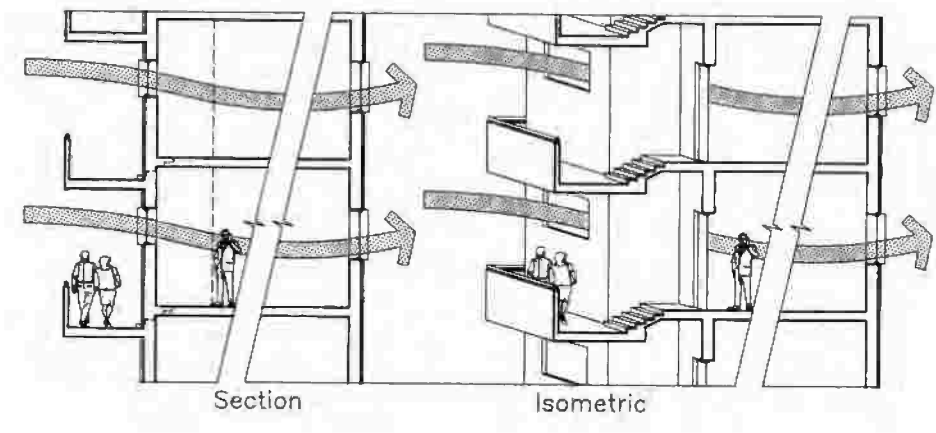



الشكل ٦-٨. مخطط لبناء شققي بممر single loaded، ممكناً التهوية المتقاطعة بينما يتيح الخصوصية البصرية والسمعية.

ومن أجل التدفئة الشمسية السلبية للشقق، يمكن استخدام الجدار «الحقيقي» فقط. ولذلك فعندما يتعلق الأمر باستخدام الطاقة الشمسية، يجب أن يواجه الجدار الخارجي شمس الشتاء. وعلى أي حال، فعندا يواجه جدار الممر الشمس، يمكن أن تتم تدفئة الممر ذاته بأشعة الشمس عن طريق وضع الزجاج أثناء الشتاء. إذ يحد الممر المدفئ، أو حتى يتخلص، من خسارة الحرارة من خلال جدار الشقة المواجه للممر، ويسهم بذلك في حفظ الطاقة.

**الشقق المؤلفة من عدة طوابق والتي يمكن دخولها مباشرة مع وحدتين لكل سلم:**

هناك مخطط تصميمي أفضل من أبنية الممرات، من المنظور المناخي، يتجلى في بناء أبنية منخفضة الارتفاع (تصل إلى أربعة طوابق، مع سلالم تخدم مباشرة شقتين في كل طابق). ومع هذا المخطط، يكون لكل شقة جدارين خارجيين متعاكسين ويمكن أن يكيف اتجاه البناء ككل، أي الكتلة المحتوية على سلالم عديدة، بشكل أفضل.

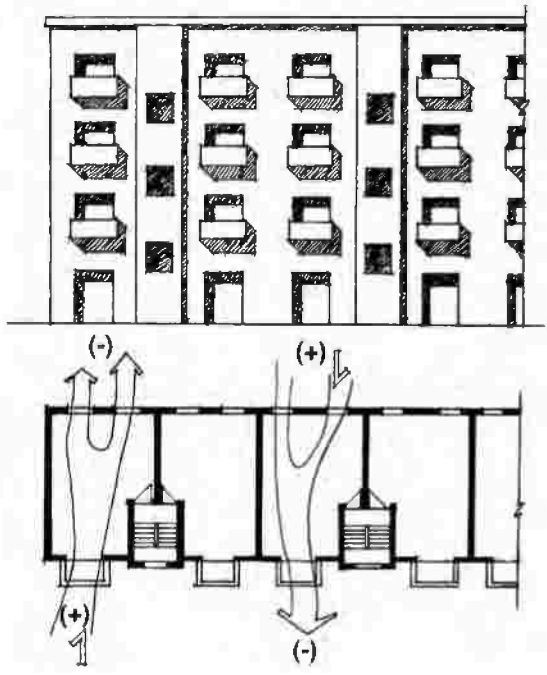



الشكل ٦-٩. مخطط لبناء شقي مع ممر single-loaded، مع ممرات في مستوى أخفض، ممكنة التهوية المتقاطعة مع الخصوصية البصرية، وليس الخصوصية السمعية.

ويتيح نوع البناء هذا، بالمشاركة مع التصميم العمراني المناسب (الجوار)، تعرضاً كافياً للأبنية الفردية للشمس والرياح السائدة، ويمكن أن يضمن احتمال التهوية المتقاطعة الفعالة والتدفئة الشمسية لجميع الوحدات السكنية.

وعلى عكس نوع الممر الـ single-loaded، لاتمس هذه الأبنية خصوصية السكان عند تهوية الشقق تهوية متقاطعة. ويتدفق الهواء من المداخل في أحد الجدران إلى المخارج في جدار آخر بينما يتم عزل الشقة بشكل كامل عن الغرباء (الشكل ٦-١٠). ومع جدران قاطعة مناسبة، يمكن تأمين العزل الصوتي الفعال جداً بين الوحدات المتجاورة.

وباتصال شقتين بسلم واحد، يمكن أن يعمل كل من الجدران الخارجية كمصدر للحرارة الشمسية. كما يمكن تطبيق أي من أنظمة التدفئة الشمسية السلبية العديدة التي ناقشناها في الفصل الرابع على نوع البناء هذا.




الشكل ٦-١٠. البناء الشققي منخفض الارتفاع والذي يمكن دخوله مباشرة، مع وحدتين في كل طابق، والذي يؤمن التهوية المتقاطعة بالإضافة إلى الخصوصية السمعية والبصرية.

كما أن «زاوية» تكييف اتجاه البناء، من أجل تأمين التهوية المتقاطعة، هي حوالي ٦٠درجة على كل جانب من اتجاه الرياح السائدة. ومن جهة أخرى تكون زاوية التكييف من أجل استخدام الطاقة الشمسية حوالي فقط ٣٠درجة على كل جانب من موضع الشمس في الظهيرة شتاءً (في خطوط عرض أكثر من حوالي ٢٠درجة جنوباً وشمالاً). ونظراً للزاوية الأكبر لاتجاه الريح، يجب أن تكون الاعتبارات الشمسية شتاءً العامل الرئيس في اختيار الاتجاه الأفضل لكتلة البناء.

**الأبنية متعددة الطوابق مع أكثر من وحدتين لكل سلم:**

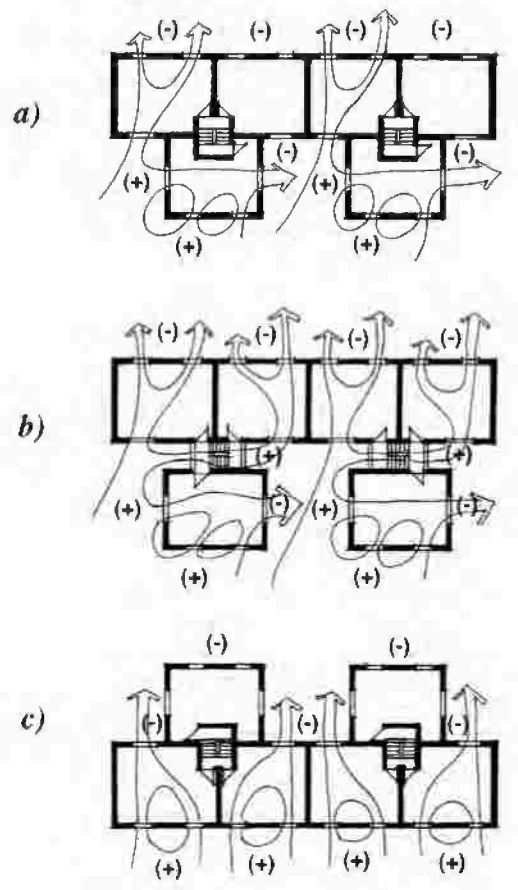
عندما يتم دخول ثلاثة شقق بشكل مباشر في كل طابق من خلال سلم واحد، يصبح موضوع تكييف الاتجاه أكثر حساسية. وعندما تسقط الشقة الثالثة بزاوية صحيحة على كتلة البناء الإجمالية، تخلق «ظل» للريح عندما تكون الريح مائلة بالنسبة للبناء وتهب باتجاه تلك الشقة. وبينما يمكن أن تتمتع جميع الشقق بتهوية معقولة، تصبح أحوالها أسوأ في حالة وجود وحدتين لكل سلم، بينما تكون جدرانها الخارجية معرضة لمناطق الضغط المنخفض (الشكل ٦-١١).

وهناك حل جزئي لتحسين احتمال تهوية الوحدة الواقعة في ظل الريح وذلك عندما يكون سلم البناء بحد ذاته موضوعاً خارج الكتلة الرئيسة ومفتوحاً لجريان الهواء عبره (الشكل ٦-١١).

أما عندما تكون الشقة البارزة في الجانب المشمس من البناء (مواجهة الجنوب في نصف الكرة الشمالي)، فإنها تخلق ظلاً شمسياً على إحدى الشقق المجاورة في الصباح وعلى الشقة الأخرى في فترة ما بعد الظهر. ولو أسقطت على الجانب الآخر للبناء، فلن تتلقى هذه الشقة ذاتها أي من أشعة الشمس في الشتاء.

وبأخذ المشكلات التي ذكرناها سابقاً بالحسبان، يمكن أن نلاحظ بأن الأداء المناخي الكلي للشقق متعددة الطوابق يهبط عندما يمكن دخول أكثر من وحدتين في كل طابق عن طريق سلم واحد. فعندما تدخل أكثر من ثلاث وحدات في كل طابق

من سلم واحد (أو مصعد واحد)، ستعاني بعض هذه الوحدات بشكل دائم من تهوية ضعيفة وأحوال تعرض شمسي ضعيفة. ولذلك لاننصح بمثل مخططات التصميم هذه في المناخات الحارة.




الشكل ٦ -١١. احتمال التهوية في بناء يمكن دخوله مباشرة مع وجود ثلاث وحدات في كل طابق:

أ - بيت درج داخلي. الشقةج الثالثة مسلطة باتجاه هبوب الرياح. وربما تكون إحدى الوحدات في ظل الريح، مع تهوية أدى.

ب- بيت درج خارجي مفتوح يحسن احتمال التهوية.

ت - بيت درج داخلي: للوحدة المسلطة بعكس اتجاه الريح احتمال تهوية أدنى.

## الأبنية عالية الإرتفاع :

تعتمد الأبنية عالية الارتفاع بشكل كامل على المصاعد وأنظمة آلية أخرى متطورة من أجل تأدية وظيفتها. ولذلك لاتكون مناسبة إلالالأشخاص ذوي الدخل المرتفع. وبالتالي لاتكون قابلية تطبيق الأبنية العالية الارتفاع كنوع من أنواع المساكن في البلدان النامية محدودة تماماً.

وعلى أي حال، ومن المنظور المناخي، فقد يكون لهذه الأبنية تأثيراً متميزاً على المناخ العمراني بمستوى الأرض في المساحة من حولها، وبشكل خاص على حقل الريح العمرانية. وسنناقش هذه المسألة بتفصيل أكبر في الفصلين السابع والثامن.

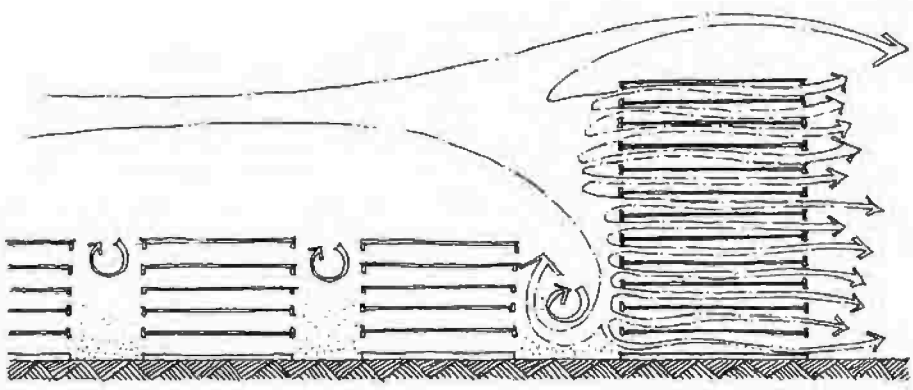
ويتمتع سكان الطوابق العليا، الواقعة فوق مستوى السطح للأبنية الأقل ارتفاعاً المحيطة بها، ببعض الميزات البيئية في الأقاليم الحارة، ولكنهم معرضون أيضاً لمخاطر مناخية أكثر شدة. وبالنظر إلى جميع العوامل السابقة، فإن الأبنية البرجية عالية الارتفاع تستحق بعض المناقشة حتى في كتاب يركز بشكل رئيسي على المساكن ذات التكلفة المنخفضة في البلدان النامية.

### التأثيرات البيئية للأبنية عالية الارتفاع:

تزيد الأبنية عالية الارتفاع، الواقعة بين أبنية أقل ارتفاعاً تحيط بها، من مزج الهواء الجاري فوق المظلة canopy العمرانية مع الهواء بمستوى الأرض. وكمصدر رئيسي لتلوث الهواء العمراني الناتج عن الغازات المنبعثة من السيارات في الشوارع، يكون التيار الهوائي الأعلى عادة أنقى من الهواء بمستوى الأرض. ويحد المزج المتزايد للهواء في هاتين الطبقتين من تركيز التلوث في مستوى الأرض، حيث يكون تأثيره على صحة السكان في أعظم مستوى له، كما يوضح الشكل ٦-١٢. وبهذه الطريقة تميل الأبنية عالية الارتفاع إلى تحسين نوعية الهواء في مستوى الشارع المحيط بها.

ولهذه الأبنية تأثير آخر على الأحوال في مستوى الأرض من حولها يتجلى في الزيادة الملحوظة لسرعة اضطراب الرياح - أي يمكن زيادة سرعة الريح في الشوارع

حول الأبنية البرجية عالية الارتفاع إلى ٣٠٠٪، وقد نشهد سرعات أعلى حتى للريح في مواقع محددة. وتعتمد جاذبية هذا الأثر بالطبع على الأحوال المناخية «الاعتيادية» في المدينة التي نتحدث عنها. ففي المدن التي تشهد رياح غير كافية، سيرحب بهذا الأثر. أما في المدن، وأثناء الفترات، التي تكون فيها الرياح شديدة، يعتبر تأثير الأبنية عالية الارتفاع تأثيراً سلبياً.



الشكل ٦-١٢. زيادة سرعة الريح قرب مستوى الأرض أمام بناء عالي الارتفاع، مما يساعد في تخفيف ملوثات الهواء في مستوى الأرض.

### الأحوال البيئية في الأبنية عالية الارتفاع:

تختلف الأحوال البيئية لسكان الطوابق العليا في الأبنية عالية الارتفاع إلى حد ما عن الأحوال البيئية لأولئك الذين يسكنون بقية السكن العمراني. وتتجلى الفروق الرئيسة في احتمال التهوية والتعرض الشمسي والتعرض للعواصف والأمطار المصحوبة بالرياح، كما هو الأمر بالنسبة للإطلالة من النافذة.

ونظراً لسرعات الرياح الأعلى عموماً فوق الارتفاع المتوسط للمظلة العمرانية، والزيادة الإضافية في سرعة الريح مع الارتفاع، تتمتع الطوابق العليا في الأبنية

عالية الارتفاع بأحوال تهوية أفضل أثناء فترات الرياح الضعيفة ولكنها من جهة أخرى معرضة لرياح أشد أثناء حدوث العواصف.

كما يعد تخلل الأمطار المصحوبة بالرياح عبر الفتحات والوصلات أيضاً مشكلة أكثر خطورة في هذه الارتفاعات مما هو الأمر بالنسبة لباقي الأبنية العمرانية. وبالتالي تظهر الحاجة لتفاصيل أكثر حذراً للنوافذ والوصلات بين عناصر الجدار في تلك الطوابق.

كما تكون الأبنية عالية الارتفاع أقل احتمالاً لتظليلها بالأبنية المجاورة. ولذلك تكون شدة الإشعاع الشمسي الساقط عليها، سواء أكان مباشراً، منشوراً، و/أو منعكساً من أسطح الأبنية الأقل ارتفاعاً، أعلى من شدة الإشعاع الشمسي الساقط على الأبنية العمرانية «النموذجية». ولذلك يعد التظليل أكثر أهمية ويكون تصميمه في بعض الأحيان أكثر تعقيداً.

كما تعد الإطلالة الأفضل التي تقدم لسكان الطوابق العليا في الأبنية عالية الارتفاع من خلال النوافذ أحد المزايا البيئية الرئيسة. وبينما قد يشعر باقي سكان المدينة بازدحام بيئتهم المرئية، يستمتع أولئك الذين يعيشون في الطوابق العليا في الأبنية عالية الارتفاع غالباً بإطلالة واسعة على المناظر البعيدة.

كما يكون مستوى الضجيج البيئي في هذه الطوابق العليا أدنى بشكل أساسي منه في الأبنية العمرانية النموذجية. ويسهم في ذلك الوضع المسافة الأبعد عن مصادر الضجيج وانعكاس الضجيج الأخف معاً.

## الصفات المناخية للساحات الداخلية والفسحات المفتوحة المحاطة والموصولة:

تعد الساحات الداخلية والفسحات المفتوحة الموصولة المحاطة بالجدران شائعة جداً في العديد من الأقاليم، لاسيما في البلدان النامية الحارة ـ الجافة، ويمكن أن

نجدها في كل من المنازل المخصصة لسكن عائلة واحدة وفي منازل البلدة. كما تبنى الأبنية الشققية متعددة الطوابق أيضاً غالباً حول إحدى الساحات.

وعندما تم تحليلها من منظور الراحة الحرارية واستهلاك الطاقة، وجد بأن أداء هذه الساحات يعتمد بشكل كبير على معالجتها المفصلة. إذ تستطيع هذه الساحات مع بعض التفاصيل في التصميم تأمين بيئة خارجية لطيفة وأيضاً تحسين الراحة الداخلية. وبتفاصيل أخرى قد تعمل الساحات على رفع درجة الحرارة الداخلية. وتسبب تهوية ضعيفة في الغرف، أو الوحدات السكنية، الواقعة في الجانب الموافق للريح.

ويمكن أن تحدث العديد من الأنشطة المنزلية بارتياح أكبر غالباً في الخارج في مناخ حار منها في الداخل. وقد تتضمن هذه الأنشطة الغسيل، الطهي، اللعب، وحتى النوم. ولذلك، يمكن أن تشكل مثل هذه الساحات الخارجية جزءاً مكملاً للمنزل.

ويمكن أن يكون للفسحة المفتوحة المدمجة علاقات مختلفة مع الأجزاء «المبنية» من البناء:

١. فسحات مفتوحة موصولة خارج خطوط الجدران.

٢. فسحات شبه محاطة (شبه مغلقة)، مثل الشرفات، محاطة بالغرف على جانبين أو ثلاثة منها ولكنها مفتوحة على الأقل من جانب واحد.

٣. ساحات داخلية، أو فناءات، محاطة من جميع جوانبها بالغرف.

ويمكن دمج هذه الأنماط المختلفة للفسحات المفتوحة وظيفياً مع «جزء» البناء، بحيث تؤمن حيزاً للأنشطة المنزلية المتنوعة. ولكن نظراً لوجود مستويات مختلفة من الدمج مع البناء والفصل عن البيئة المناخية العامة، يمكن أن يكون لهذه الفسحات صفات مناخية وتأثيرات مختلفة على المناخ الداخلي للبناء.

### الفسحات المفتوحة الموصولة:

يمكن أن تحاط الفسحات المفتوحة الموصولة بجدران مرتفعة، معزولة تماماً عن المحيط الخارجي «العام». وعلى أي حال، فمن المنظور الحراري، لاتتخلل هذه الفسحات مغلف البناء ولذلك فهي لاتزيد المساحة السطحية لمغلفه. وعندما تتم معالجتها بشكل ملائم، يمكن أن تعدل هذه الفسحات المفتوحة الموصولة (الساحات أو الشرفات) الأحوال المناخية للبيئة المحيطة، بجوار «غلاف» البناء. وقد تشمل هذه التعديلات:

- تظليل جدران البناء المجاورة للفسحات المفتوحة، إما عن طريق overhand أو عن طريق زراعتها.
- عزل الجدران، بواسطة شجيرات كثيفة وعالية على سبيل المثال، مما يؤدي إلى خلق فسحة هوائية شبه ميتة بجوار الجدران.
- زيادة الرطوبة وتخفيض درجة الحرارة في الفسحة الهوائية شبه المغلقة داخل الفسحة المفتوحة «المحاطة بالجدران». ويمكن إجراء هذا التعديل للمناخ فقط إذا تم فصل الفسحة المفتوحة عن البيئة «العامة» بواسطة جدران مرتفعة وتظليلها بواسطة سطح، أو مظلات من الأشجار، فوقها.

### الفسحات المفتوحة شبه المغلقة (شبه المحاطة):

تتخلل الفسحات المفتوحة شبه المغلقة، كالشرفات العميقة، محيط البناء مؤدية إلى زيادة مساحته السطحية الفعالة. كما تعزز التفاعل بين البيئات الحرارية الداخلية والخارجية، بحيث تزيد كل من درجة التدفئة الداخلية أثناء ساعات النهار ودرجة التبريد ليلاً.

كما تمكن الشرفات شبه المغلقة من تكييف هندسة البناء مع التغييرات التي تحدث في العلاقة المرغوبة بين الداخل والخارج. وينبغي أن تجهز الشرفات بألواح

معزولة قابلة للفتح بحيث يمكن إغلاقها أثناء الساعات الحارة وفتحها أثناء ساعات المساء والليل. وقد تحتوي هذه الألواح على نوافذ صغيرة لتؤمن الإضاءة النهارية، التهوية، والإطلالة من الشرفة عند إغلاق الألواح.

وعندما يتم فتح الألواح العازلة تتحول الشرفات إلى فسحات شبه مفتوحة، تؤدي بشكل فعال إلى زيادة المساحة السطحية لمغلف البناء. أما عندما يتم إغلاق الألواح تشكل الشرفات جزءاً مكملاً للحيز الداخلي للبناء ويزداد تأثيرها على مساحة مغلف البناء إلى أعظم حد. وفي الحالتين تكون هذه الشرفات نتيجة لذلك جزءاً مكملاً للمساحة المستخدمة للبناء، كما هو مبين في الشكل ٦- ١٣.

### الساحات الداخلية:

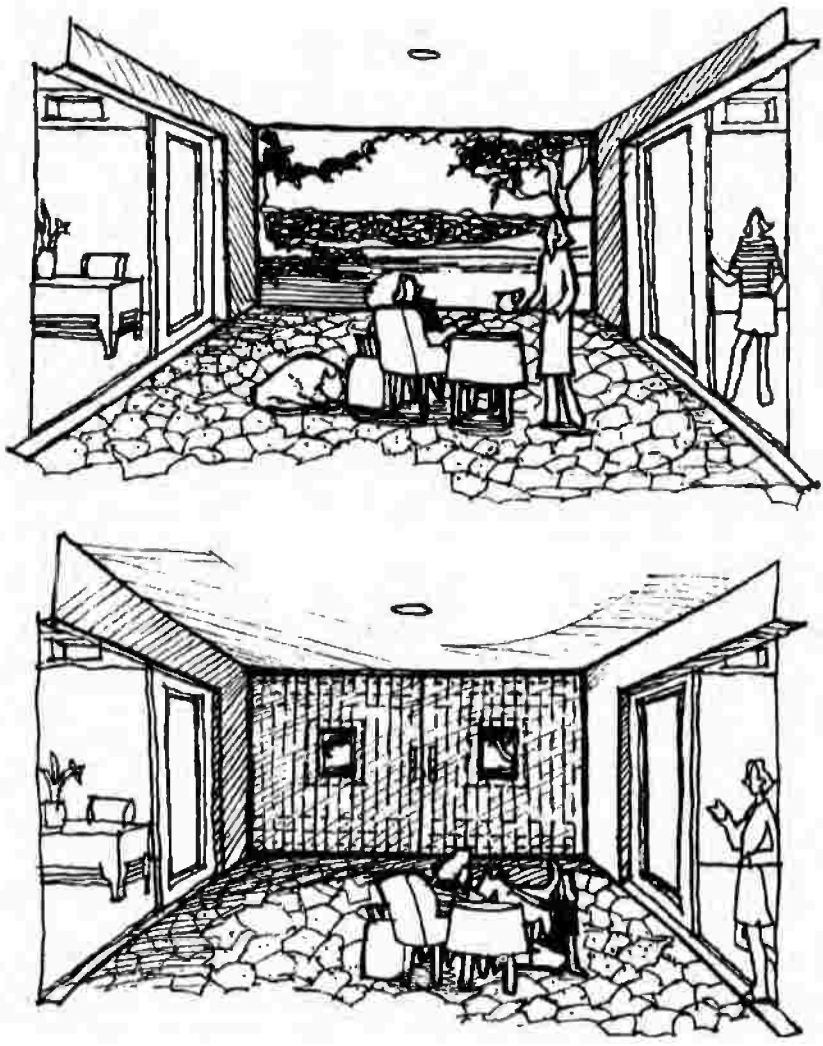
تعظم الساحات الداخلية التفاعل الحراري بين البناء والبيئة الخارجية، بحيث تضم المحيط الخارجي إلى صميم نواة البناء. ويفترض بشكل شائع بأن مثل هذه الفناءات الداخلية تساعد في الحفاظ على درجة حرارة داخلية باردة في المناخات الحارة. وعلى أي حال، تعتمد التأثيرات المناخية الفعلية للساحة الداخلية بشكل كبير على تفاصيل تصميمها و «معالجتها».

### الصفات المناخية للساحات:

عند مقارنة الأحوال المناخية للفسحات المفتوحة مع الأحوال المناخية لفناء، لابد من أخذ العوامل التالية بعين الاعتبار.

فعندما يكون الإشعاع الشمسي الكلي الذي يتخلل حيز الفناء المفتوح مساوياً للإشعاع الشمسي الساقط على سطح أفقي مفتوح للأرض، يتم امتصاصه في الأسطح العمودية المتعددة (الجدران) وأرضية الفناء. كما تجرف الرياح جزءاً من الطاقة الشمسية الممتصة في منطقة مفتوحة. وتكون سرعة الرياح داخل فناء ما عادةً أدنى بكثير من سرعة الرياح المحيطة وبالتالي تجرف الرياح حرارة شمسية

أقل بينما يتم امتصاص جزء أكبر من قبل أسطح الفناء، مؤدياً إلى رفع كل من درجات حرارة الهواء والحرارة الإشعاعية للفناء. وكذلك تكون خسارات الحرارة بالتبخر والحمل الفيزيولوجي أصغر في الفناء بسبب اعتراض سبيل الريح وأحوال الهواء شبه الساكن فيها.



الشكل ٦-١٣. شرفة تتخلل البناء مع مصاريع shutters معزولة مفتوحة (أعلاه) كجزء من البيئة الخارجية، ومصاريع shutters مغلقة بحيث تصبح جزءاً من الحيز الداخلي.

كما أن خسارة الإشعاع الموجي الطويل (ليلاً ونهاراً) أصغر من الفناء منه من السطح الأفقي الخارجي المكشوف، بفضل الانسداد الجزئي للسماء، والامتصاص الإشعاعي الموجي الطويل من قبل الجدران. وستكون درجة حرارة الهواء المحيط في مثل هذه الفسحات الداخلية المفتوحة «غير المعالجة» عادة أعلى منها في الفسحة المفتوحة الخارجية، ولاسيما أثناء الليل، نظراً لأن الفناء قد يعمل «كوادي عمراني» مغلق على مقياس صغير.

وهكذا، فمن المحتمل أن يسبب الفناء الداخلي غير المظلل دون وجود زرع أو أية مصادر أخرى للظل والتبخر درجات حرارة داخلية أعلى في البناء المحيط به، مقارنة مع بناء محكم بنفس المساحة الأرضية. وأثناء ساعات المساء والليل بالطبع يمكن أن يؤمن الفناء بحد ذاته مساحة مع مناخ ألطف منه في الحيز الداخلي، بالإضافة إلى العزلة التامة.

وتعتمد الأحوال المناخية الفعلية داخل فناء داخلي بشكل كبير على تفاصيل تصميمها و «معالجتها». حيث تكون درجة حرارة الإشعاع والهواء في الفناء الداخلي في بعض الحالات أعلى، ولكن يمكن أن تكون أدنى أيضاً من درجة حرارة المحيط الخصوصية، استناداً إلى تفاصيل تصميم الساحة.

كما يكون للفناء الداخلي «غير المعالج» مع تربة عارية أو أرضية صلبة (كالاسمنت، الآجر، أو غير ذلك) غالباً درجات حرارة إشعاع وهواء أعلى من البيئة الخارجية ويمكن لذلك أن تزيد درجة ارتفاع درجة الحرارة الداخلية. ويعود ذلك إلى عرقلة الهواء في الفناء والزيادة الفعالة في المساحة السطحية لمغلف البناء.

ونتيجة لذلك، من المحتمل أن يسبب الفناء الداخلية غير المظلل، بدون زرع أو أية مصادر أخرى للظل والتبريد البخاري، عدم ارتياح داخلي أعلى في الأقاليم الحارة منه في بناء لايوجد فيه فناء مع نفس المساحة الأرضية. إذ يمكن أن يؤمن الفناء بحد ذاته بلاشك مساحة مع مناخ ألطف منه في الحيز الداخلي أثناء ساعات المساء والليل، بالإضافة إلى العزلة التامة في الفسحة المفتوحة.

### معالجات تبريد الفناءات

يمكن أن يكون للفناء بإجراء معالجات مختلفة تأثير أفضل بكثير على المناخ الداخلي من البيئة المكشوفة في مناخ حار ـ جاف، بالإضافة إلى المناخ «الخارجي» الألطف داخل حدود مغلف البناء. كما يمكن إنجاز هذا التعديل لمناخ الفناء عن طريق جمع خفض مقدار الإشعاع الشمسي الذي يصطدم بأرضية الفناء صيفاً والحد من درجة حرارة الهواء فيها عن طريق التبريد البخاري.

كما يمكن تظليل الفناء عن طريق تفاصيل تصميم البناء من حوله ـ كالشرفات والسقف المسلط داخلياً على سبيل المثال. ويمكن تظليل أرضية الفناء أيضاً عن طريق عريشة مع دوالي عنب أو أشجار بجذوع عالية ومظلات عريضة. وبهدف تمكين وصول الضوء وأشعة الشمس في الشتاء يفضل أن تكون نباتات التظليل داخل الفناء بتشكيلات نفضية.

كما يمكن خفض درجة حرارة هواء الفناء قرب مستوى الأرضية من خلال تعزيز التبريد البخاري للهواء داخل الفسحة. ولتعزيز التبريد البخاري، يجب أن يكون الهواء الساكن «المحجوز» داخل الفناء على اتصال مع الماء مع مساحة سطحية كبيرة لتكون عملية. ويمكن أن تؤمن حلول عديدة للتصميم مساحة سطحية كبيرة للماء.

ويكون لبركة اعتيادية ضمن الفناء مقدار محدود جداً من سطح الماء المتصل مع الهواء. وفي حال لم يتم تظليله، ستكون درجة حرارة الماء قريبة من درجة حرارة الهواء المحيط، كما تكون خسارة الحرارة بالتبخر قريبة من اكتساب الحرارة الشمسي للماء، ولن تسبب تخفيض فعلي لدرجة حرارة هواء الفناء. وعلى أي حال، يمكن لبركة مظللة مع رش الماء، أو أي مصدر آخر للماء المرشوش، أن تبرد الماء والهواء المتصل معه إلى درجة حرارة أدنى من درجة حرارة «البصلة الجافة» المحيطة. كما يمكن زيادة المساحة السطحية للماء عن طريق نافورة مع رذاذ صافي أو تدفق الماء على جدار عمودي مع بركة أمامية. ويمكن أن تزيد المساحة السطحية

الأكبر للماء «الاتصال» بين الهواء والماء إلى حد هام، مؤدية إلى زيادة درجة التبخر وانخفاض درجة حرارة الماء والهواء في الفناء.

كما يمكن أن يعمل برج تبريد «الدش» أو برج التبريد من نمط أريزونا، كما صورنا في الفصل الخامس (يبدأ في الصفحة ١٩٦)، أيضاً كمصادر تبريد للفناء. ويمكن دمج برج «الدش» معمارياً مع بركة. وبالإضافة إلى تيار الهواء البارد الذي يولد، فهو يبرد أيضاً الماء إلى درجة حرارة قريبة جداً من درجة حرارة البصلة الرطبة المحيطة (WBT). وكذلك يمكن أن تحد مظلة الأشجار، أو التعريشة، بشكل فعال من مزج الهواء البارد في الفناء مع الهواء الأدفئ الذي يجري على سطح البناء. وبهذه الطريقة لايعمل الفناء فقط كفسحة «خارجية» لطيفة ومحمية بل يحد أيضاً من اكتساب البناء للحرارة، مقارنة مع الفناء عبر المبرد.

### التبريد الإشعاعي لفناء مغلقة:

يمكن خفض درجة الحرارة الليلية داخل الفناء إلى حد ما عن طريق الاستفادة من خسارة الحرارة الإشعاعية من الأسطح المحيطة به. وهذا يعني عملياً بأنه ينبغي أن تنحدر الأسطح حول الفناء باتجاه الفناء. كما ينبغي أن يحاط محيط السقف بمتراس (حاجز) صلب للحد من سرعة الريح على سطح السطح. ويمكن أن يحيط المتراس الآمن «الشفاف» المفتوح (المفتوح على جريان الهواء) بالفناء ذاته. ويجب أن يكون المزراب حول الساحة قادر على جمع ماء المطر والتخلص منه، مع أي شدة متوقعة، وبذلك يمنع فيضان الفناء أثناء هطول الأمطار.

وفي حالة الأسطح الإسمنتية، يجب عزل السطح فوق الاسمنت بغية ضمان التبريد السريع للسطح الخارجي. وقد تشكل طبقة معدنية مضلعة بسماكة حوالي ٥سم (٢") فوق طبقة العزل السطح الخارجي ويفضل ذلك. إذ سيعمل هذا الأمر على تبريد الهواء ليلاً، أعلى وأسفل الطبقة المعدنية، والذي قد يتدفق عندئذ نحو الأسفل باتجاه الفناء.

ويمكن أن تترجم هذه المفاهيم الفيزيائية إلى حلول تصميمية معمارية عديدة، معززة الخاصية المرئية للفناء فضلاً عن تحسين أحوال الراحة فيها. ونناقش الموضوع الخاص بالساحات الداخلية في المناخات الحارة ـ الجافة في الفصل العاشر.

## مشكلات التهوية في الأبنية ذات الساحات الداخلية:

تخلق الساحات الداخلية في المنازل، ولاسيما التي تقع في مركز كتلة الشقة، أحوال غير متساوية، من منظور التهوية، بالنسبة للغرف أو الشقق المحيطة بها. كما تخلق الريح أياً كان اتجاهها منطقة ضغط منخفض فوق الفسحة المفتوحة للساحة. ويكون للغرف أو الشقق في الجوانب المواجهة للريح للساحة احتمال تهوية جيد. وعلى أي حال، فإن تهوية الغرف في الجوانب الموافقة للريح للساحة (مناطق الضغط المنخفض) أضعف، إذ تحاط الغرف بالضغط المنخفض من جميع الجوانب.

وعندما تكون الساحة محاطة ببناء شققي تكون التهوية في الوحدة المقابلة للريح أضعف منها في شقة في بناء لاتوجد فيه ساحة داخلية، وذلك عندما تتمكن فتحات المخرج والمدخل المتوضعة بشكل صحيح من توجيه جريان الهواء عبر الوحدة ككل.