الفصل الثالث : الحرارة

- درجة الحرارة
  - * مقياس درجة الحرارة
  - * العوامل المؤثرة فى درجات الحرارة
  - * درجات الحرارة فى مصر
- الانتقال الحرارى بين البيئة الخارجية والوسط الداخلى للمبانى
  - * التوصيل الحرارى والمقاومة الحرارية
  - * خواص سطح المادة
  - * السعة الحرارية
  - * التخلف الزمنى
  - * طريقة بيانية لمعرفة درجة حرارة أى نقطة من الحائط
- التحكم فى الانتقال الحرارى بين البيئة الخارجية والوسط الداخلى للمبنى
  - * المناطق الحارة الجافة
  - * المناطق الحارة الرطبة

الفصل الثالث

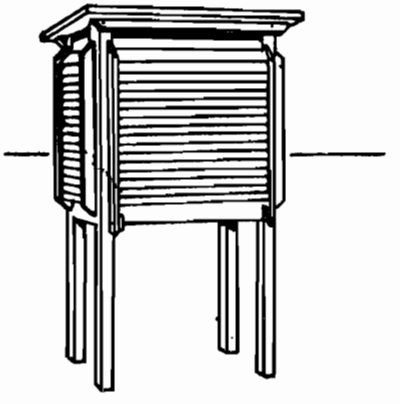
الحرارة

درجة الحرارة :

قياس درجة الحرارة :

وحدة القياس للحرارة هى الدرجة المئوية أو الفهرنهيت ، وتتم بواسطة الترمومتر الجاف الذى يعطى القيمة الحقيقية لدرجات حرارة الهواء فى الظل .

ويوضع الترمومتر داخل صندوق خشبى يطلق عليه Stevenson screen (شكل ٣٥) على ارتفاع حوالى ١,٨٠ متر من مستوى سطح الأرض . وإلى جانب هذه الطريقة لقياس درجة الحرارة ، توجد طرق أخرى متقدمة .



شكل ٣٥ : صندوق ستيفنسون
لقياس درجة الحرارة

والمعروف أن صفر درجة مئوية يساوى ٣٢ درجة فهرنهيت (ف°) .

وتستعمل المعادلة التالية لتحويل الدرجات المئوية (س م°) إلى درجات

فهرنهيت (ف°) : س م° = (س × $\frac{٩}{٥}$) + ٣٢ ⟵ (ف°)

ولتحويل الدرجات الفهرنهيت (ص ف°) إلى درجات مئوية تستعمل المعادلة التالية :

ص ف° = (ص - ٣٢) × $\frac{٥}{٩}$ ⟵ (م°)

وتعطى محطات الأرصاد بياناتها عن درجة الحرارة فى جداول لمتوسط درجات الحرارة العظمى والصغرى وأيضاً متوسط الاثنين معاً وذلك لليوم والشهر .

ومتوسط درجة الحرارة لليوم أو الشهر لا تعطى صورة دقيقة عن الحرارة لمنطقة ما ، وهذا ما توضحه المقارنة التالية بين مدينتين تقعان فى مناطق مناخية مختلفة ولكن لهما نفس متوسط درجات الحرارة وذلك عن شهر يولية .

المدينة	متوسط درجات الحرارة	متوسط العظمى	متوسط الصغرى
القدس	٢٤,٥° م	٤١° م	١٠,٥° م
جاياكيل (فى الأكوادور)	٢٤,٥° م	٣١° م	١٩° م

وعلى هذا فإن البيانات المطلوبة لإعطاء الصورة الواضحة عن درجات الحرارة هى :

١ - المتوسط الشهرى لدرجة الحرارة Monthly mean temperature .

٢ - المتوسط الشهرى لدرجات الحرارة العظمى والصغرى

Monthly mean of Maxima and Minima temperatures

٣ - أعلى وأقل درجة حرارة مطلقة سجلت خلال الشهر

Absolute Maximum and Minimum temperature

٤ - المدى الحرارى ، وهو الفرق بين أعلى وأقل درجة حرارة سجلت خلال اليوم .

العوامل المؤثرة فى درجات الحرارة :

توجد أقصى درجات الحرارة فى المناطق الحارة بنصف الكرة الشمالى ، حيث يمكن أن تصل إلى ٥٠° م أو أكثر فى الظل . ولا يجعل جو تلك المناطق محتملاً إلاّ انخفاض الرطوبة بالجو . أما فى المناطق الحارة الرطبة فيؤدى تشبع الجو بالرطوبة إلى تقليل قدرة الإنسان على احتماله .

ونظرياً تكون المناطق الاستوائية أكثر المناطق حرارة بسبب تعامد زاوية الشمس وتعرضها لأكبر قدر من الإشعاع الشمسى . غير أن التدرج فى درجات الحرارة من خط الاستواء إلى القطب ليس منتظماً ، ويرجع ذلك التأثير إلى العوامل التالية :

أ - خط العرض وفصول السنة :

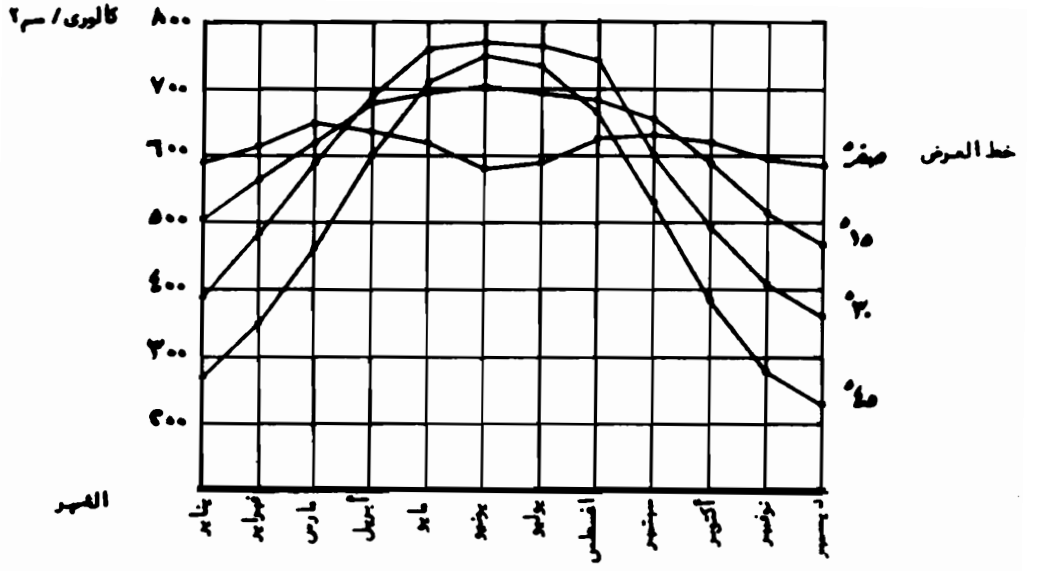
حقيقة أن زاوية سقوط أشعة الشمس وبالتالى شدتها والحرارة الناتجة عنها تقل كلما ابتعدنا عن خط الاستواء ، ومع ذلك فإن عدد ساعات النهار حيث يكون للشمس تأثير يزداد فى الصيف .

وينتج من ذلك أن أقصى كمية للإشعاع الشمسى صيفاً على سطح الأرض تكون محصورة بين خطى عرض ٣٠° و ٤٥° شمالاً (شكل ٣٦) .

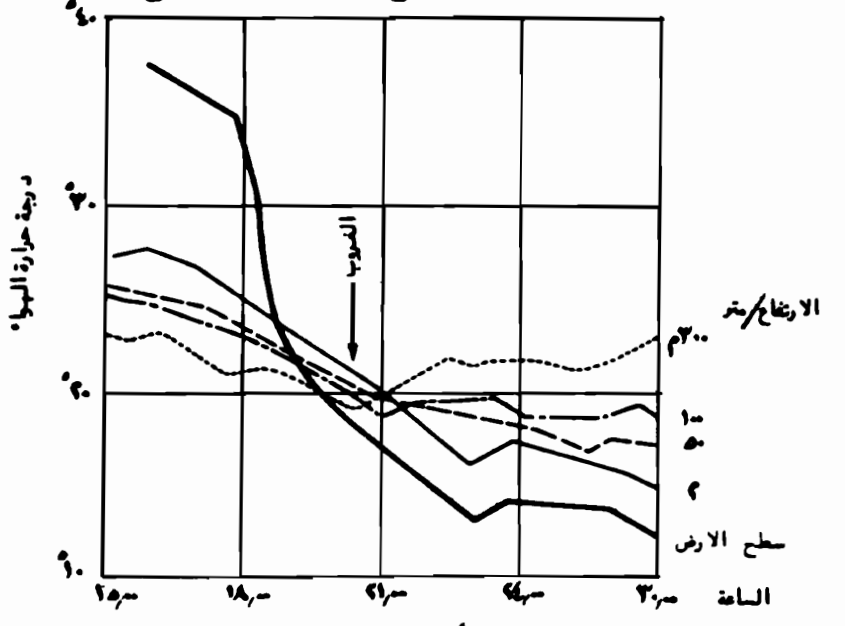
ويؤثر انخفاض الحرارة فى الشتاء على تحديد المتوسطات السنوية لكمية الحرارة فى تلك المناطق . والنتيجة هى أن أكبر معدل إشعاع حرارى يحدث تقريباً عند خط عرض ١٥° .

ب - الغلاف الجوى :

يكون لصفاء الغلاف الجوى وخلوه من السحب والغبار من عدمه تأثير كبير على وصول أشعة الشمس إلى سطح الأرض بدون فاقد كبير فى طاقتها الحرارية .



شكل ٣٦ (أ) كمية الإشعاع الشمسى اليومية الساقطة على سطح أفقى فى مستوى سطح البحر



شكل ٣٦ (ب) تأثير الارتفاع على درجة حرارة الهواء

تؤثر طبوغرافية الموقع تأثيراً شديداً على درجة حرارة الهواء إذ يؤدى فرق فى الارتفاع من ٧ إلى ٨ أمتار إلى فرق ٥ إلى ٦ درجات مئوية فى درجة الحرارة وذلك فى حالة سكون الريح

جـ - الموقع بالنسبة للمسطحات المائية :

تبلغ سرعة اكتساب وفقدان الحرارة بالنسبة للأرض ضعف سرعة مسطح ماء فى نفس المساحة . لذا كانت الظاهرة المعروفة بنسيم البر ونسيم البحر ، التى تقلل من فروق درجات الحرارة الشديدة بين الليل والنهار على المواقع الساحلية .

درجات الحرارة فى مصر :

يظهر تأثير العوامل السابق ذكرها على التباين فى توزيع درجات الحرارة بالنسبة للمناطق المناخية فى مصر . ففى فصل الشتاء تبلغ درجة الحرارة أدناها فى شهر يناير ويظهر تأثير البحر المتوسط واضحاً فى تدفئة منطقة الساحل الشمالى ، ولا يتفوق عليها سوى الطرف الجنوبى للبلاد نظراً لقربه من المنطقة المدارية . فمثلا يتقارب متوسط درجة الحرارة بمدينة الإسكندرية التى تقع على خط عرض ١٢ ٣١° شمالا مع نظيره لمدينة الأقصر الواقعة على خط عرض ٤٠ ٢٥° شمالا ، حيث يبلغ الأول فى شهر يناير ١٣,٨° م ويبلغ الثانى فى نفس الوقت ١٤,٢° م .

ويرتفع متوسط درجة الحرارة من أدناه فى شهر يناير ليصل أقصاه فى شهر يولية فى جميع أنحاء البلاد . ويحدث هذا الارتفاع ببطء فى منطقة الساحل الشمالى حتى أنها تصل إلى الحد الأقصى فى شهر أغسطس بدلاً من يولية مثل باقى المناطق .

وتحُول نسبة الرطوبة على سواحل البحر الأحمر دون انخفاض درجة حرارتها كثيراً فى الشتاء كما يبدو من مقارنة درجات الحرارة فى القصير وقنا مثلا وهما واقعتان على خط عرض متقارب .

وتتضح قارية المناخ فى مصر وتطرفه مع الابتعاد عن تأثير البحر إلى الداخل حيث يزداد المدى الحرارى السنوى فبينما يبلغ ٨,٩° م فى الإسكندرية يصل إلى ١٢,٧° م فى القاهرة و ١٧,٨° م فى الأقصر .

المدينة	الشهر	متوسط العظمى	متوسط الصغرى	المدى الحرارى
القصير :	يناير	٢٣,٧	١٣,٨	٩,٩
٨ ٢٦° شمالاً	يولية	٣٣,٤	٢٦,٣	٧,١
قنا :	يناير	٢٢,٧	٦,٧	١٦,-
١٠ ٢٦° شمالاً	يولية	٤٠,٨	٢٣,٧	١٧,-

الانتقال الحرارى بين البيئة الخارجية والوسط الداخلى للمبانى :

عند سقوط كمية من أشعة الشمس على حائط فإن جزءاً من تلك الأشعة ينعكس مرة أخرى للجو المحيط ، بينما يمتص الجزء الآخر حيث يتحول إلى طاقة ترفع درجة حرارة السطح الخارجى للحائط أولا ثم بقيته لتصل إلى الهواء الداخلى للمبنى .

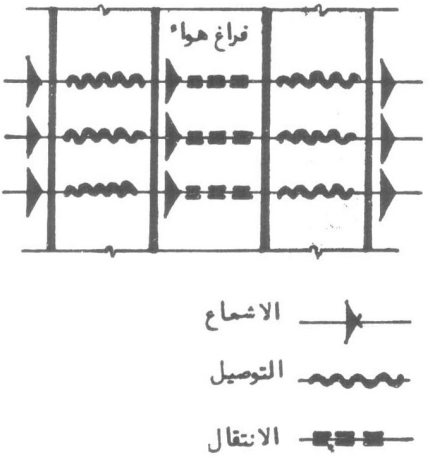
ويأخذ انتقال الحرارة من وإلى المبنى أربعة أشكال مختلفة هى (شكل ٣٧) :

أ - التوصيل Conduction : وهو تدفق الحرارة خلال جزيئات المادة من الجزىء ذى الطاقة الحرارية الأكبر إلى الجزىء ذى الطاقة الحرارية الأقل .

ب - الانتقال Convection : وهو يعنى تدفق جزيئات المادة الساخنة نفسها من مكان لآخر وبتغيير فى محتواها الحرارى .

جـ - الإشعاع الحرارى Radiation : وهو انتقال الحرارة خلال فراغ معين عن طريق الموجات الكهرومغناطيسية .

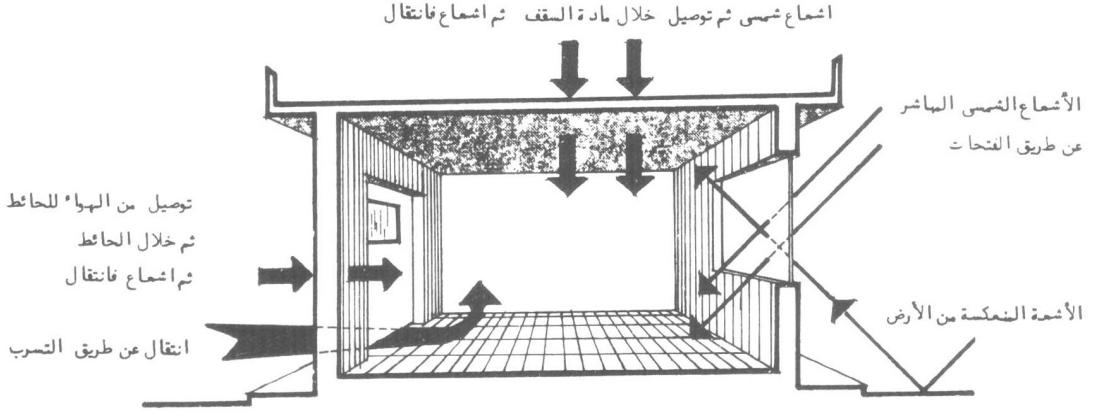
د - البخر والتكثيف Evaporation and Condensation : وهو يعنى التغير فى حالة المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية وبالعكس مما يؤدى إلى امتصاص أو انبعاث حرارة من المادة نفسها وهذه الخاصية تستغل فى التبريد .



شكل ٣٧ : أشكال النفاذ الحرارى

خلال حائط مزدوج

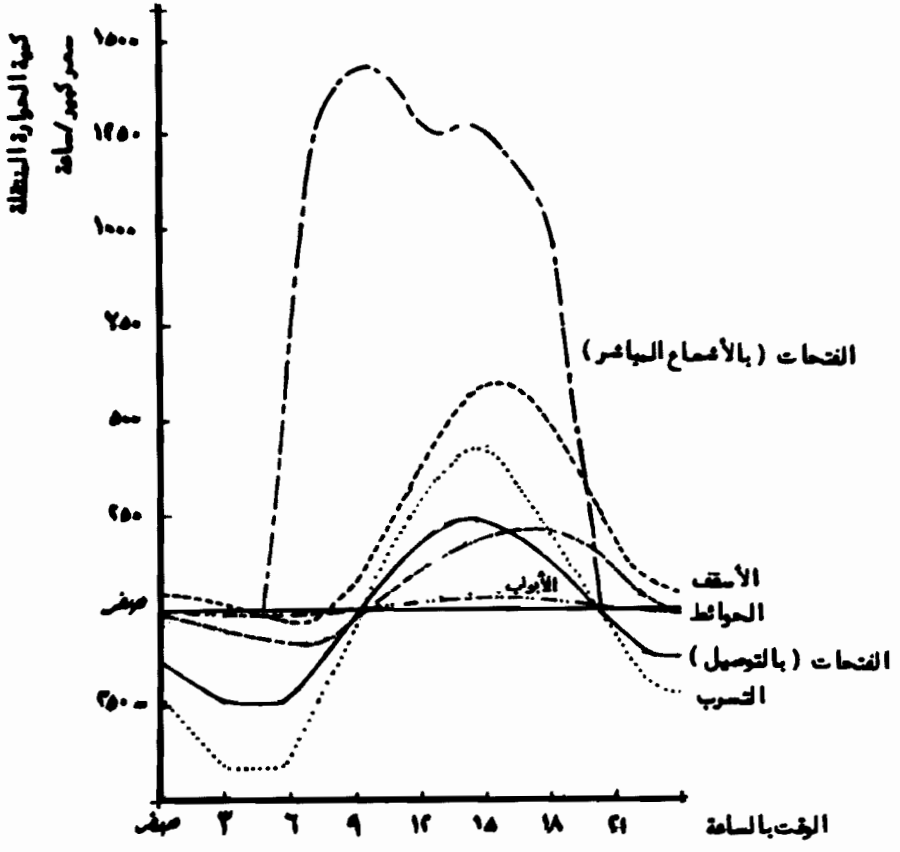
ويتغير شكل انتقال الحرارة خلال تدفقها من خارج المبنى إلى داخله أو العكس تبعاً لمقطع الحائط ومكوناته (شكل ٣٨) .



شكل ٣٨ : النفاذ الحرارى من البيئة الخارجية إلى داخل المبنى

ويتم الانتقال الحرارى بين البيئة الخارجية والوسط الداخلى للمبنى من خلال الحوائط والأسقف وكذلك من خلال الفتحات . وتنتقل الحرارة بنفس الطريقة خلال الأسقف والحوائط على السواء ، إلا أن كمية الأشعة الساقطة على السطح تكون أكبر

نتيجة لطول مدة تعرضه للشمس فتجعل الحرارة المتسربة من خلاله إلى الداخل أكبر من الحوائط الرأسية . أما الفتحات فتعتبر المصدر الرئيسى لنفاذ الحرارة إلى الداخل (شكل ٣٩) إذ يزيد الزجاج من النفاذ الحرارى إلى الداخل بمقدار يفوق أكثر من ٣٠ ضعف النفاذ الذى يحدث خلال الأسطح المعتمة . وتختلف درجة النفاذ الحرارى حسب نوع الزجاج ودرجة شفافيته ونقائه .



شكل ٣٩ : النفاذ الحرارى خلال الفتحات بالنسبة لعناصر المبنى

ويتأثر معدل انتقال الحرارة من وإلى المبنى بالخواص الحرارية الطبيعية لمواد البناء وهى :

التوصيل الحرارى Thermal Conductivity

والمقاومة الحرارية Thermal Resistance

ومعامل التوصيل الحرارى لمادة λ هو كمية الحرارة المتدفقة بالتوصيل فى وحدة الزمن خلال وحدة سمك لوحدة مساحة بفرق وحدة قياس حرارى بين سطحى المادة . هذا بفرض أن درجة الحرارة على جانبى المادة وتوزيعها خلالها متجانس وثابت خلال الزمن .

ويقاس معامل التوصيل الحرارى λ بوحدة قياس هى :

چول / ثانية . م^{٢} . درجة مئوية

أما مقاومة المادة لتدفق الحرارة (ق) فهو عكس التوصيل الحرارى حيث :

$$ق = \frac{١}{\lambda}$$

ويمكن حساب التدفق الحرارى (د) خلال حائط ذى معامل توصيل حرارى معلوم (ووحدته چول / ثانية) من المعادلة :

$$د = م \frac{\lambda}{س} (ز_{٢} - ز_{١})$$

حيث مساحة الحائط = م سمك الحائط = س

معامل التوصيل الحرارى λ فرق درجات الحرارة

من الخارج والداخل = $ز_{٢} - ز_{١}$

من هذه العلاقة يثبت أن التوصيل الحرارى لحائط يتناسب عكسياً مع سمك الحائط .

ومما يؤثر فى معدل تدفق الحرارة بين الهواء الخارجى والداخلى خلال مادة حائط أو سقف ، طبقة من الهواء الساكن Film تكون ملاصقة لكل من السطحين ، إذ أن هذه الطبقة تكسب الحائط مقاومة أكبر نظراً لأن الهواء موصل ردىء للحرارة . ويتناقص سمك هذه الطبقة بازدياد سرعة الهواء ، كما يزداد بازدياد خشونة السطح .

لذلك فإنه عند حساب معدل التدفق الكلى للحرارة ، فإن المقاومة الحرارية لكلا السطحين الداخلى والخارجى يجب أن تضاف إلى المقاومة الحرارية لمقاومة مادة الحائط نفسها .

خواص سطح المادة Surface Characteristics :

وهى درجة عكس أو امتصاص السطح للأشعة وكذلك مدى انبعاث الأشعة الحرارية من سطح المادة أو قدرة المادة على نشر أو بعث الحرارة مرة أخرى منها عندما توضع فى وسط أقل فى درجة حرارته منها .

والجدول التالى (جدول ١) يبين خواص السطح لبعض المواد وألوان الدهانات المستخدمة فى البناء .

المادة أو اللون	درجة الانعكاس	درجة الامتصاص	درجة الانبعاث
ألومنيوم مصقول	,٩٥	٠,٥ر	٠,٥ر
ألومنيوم مؤكسد	,٨٥	,١٥	,١٢
حديد مجلفن	,٧٥	,٢٥	,٢٥
دهان برونزى	,٥٠	,٥٠	٠,٥ر
دهان أبيض	,٨٨	,١٢	,٩٠
لون رمادى فاتح	,٦٠	,٤٠	,٩٠
رمادى غامق	,٣٠	,٧٠	,٩٠
اللون الأسود	,١٥	,٨٥	,٩٠

جدول رقم (١) : درجة الانعكاس والامتصاص والانبعاث لبعض المواد

السعة الحرارية Heat Capacity :

السعة الحرارية لحائط أو سقف هى كمية الحرارة المطلوبة لرفع درجة حرارة وحدة حجوم درجة واحدة مئوية ، وتعرف بالسعة الحرارية الحجمية للمادة ووحدة قياسها چول/سم^{3} . درجة مئوية .

وتعتمد السعة الحرارية للمادة على كلّ من :

الحرارة النوعية ، ووحدة قياسها چول/جم . درجة مئوية .

والكثافة ، ووحدة قياسها كجم / م^{3} لهذه المادة .

وبما أن اختلاف الحرارة النوعية بين مواد البناء المختلفة صغير جداً فإن الكثافة هى الفيصل فى تحديد السعة الحرارية لمواد البناء ومن ثم القدرة التوصيلية لهذه المواد ، لأنه كلما زادت كمية الحرارة المطلوبة لتسخين مادة الحوائط والأسقف قل النفاذ الحرارى إلى الداخل عن طريق هذه الحوائط .

التخلف الزمنى Time Lag :

تؤدى الطاقة التى يمتصها حائط (أو سقف) إلى رفع درجة حرارته . ومعظم تلك الحرارة يعود الحائط فيشعها بعد غروب الشمس أى بعد غياب مصدر الطاقة .

وكمية الأشعة التى يستقبلها أىّ سطح خارجى غير ثابتة أثناء النهار ، وذلك بسبب تغير زوايا أشعة الشمس وشدتها . وتنتقل الحرارة بتغيرها هذا من السطح الخارجى للحائط إلى الطبقات الداخلية (سمك الحائط) لتبلغ السطح الداخلى بعد فترة زمنية معينة . وعلى هذا تبلغ درجة حرارة السطح الداخلى أقصاها بعد السطح الخارجى بفترة حيث يبدأ هذا الأخير فى فقدان حرارته . وتسمى هذه الفترة الزمنية التى تصل فيها درجة حرارة السطح الداخلى للذورة بالتخلف الزمنى ، وهى تتناسب مع المقاومة الحرارية للمادة ومع سمك الحائط تناسباً طردياً .

والجدول رقم (٢) يبين فترة التخلف الزمنى بالنسبة لبعض مواد البناء

مادة البناء	السمك (سم)	التخلف الزمنى (ساعة)
الحجر الطبيعى	٢٠	٥,٥
	٣٠	٨
	٤٠	١٠,٥
	٦٠	١٥,٥
الطوب الأحمر	٣٠	٧,٨
	٤٠	١٠,٢
	١٠	٢,٣
	٢٠	٥,٥
	٣٠	٨,٥
	٤٠	١٢
الخشب	١,٢٥	,١٧
	٢,٥	,٤٥
	٥	١,٣
ألواح عازلة للحرارة	١,٢٥	٠,٨ر.
	٢,٥	,٢٣
	٥	,٧٧
	١٠	٢,٧
	١٥	٥
الخرسانة	٥	١,١
	١٠	٢,٥
	١٥	٣,٨
	٢٠	٥,١

جدول رقم (٢) : التخلف الزمنى لبعض مواد البناء

ومما يجب ذكره أن صعوبة تحديد القيم والقياسات السابقة يجعل من المستحيل تقريباً تحديدها بدقة بالنسبة لكل مادة على حدة ، لكنها تستعمل فى مقارنة خصائص المواد ببعضها البعض .

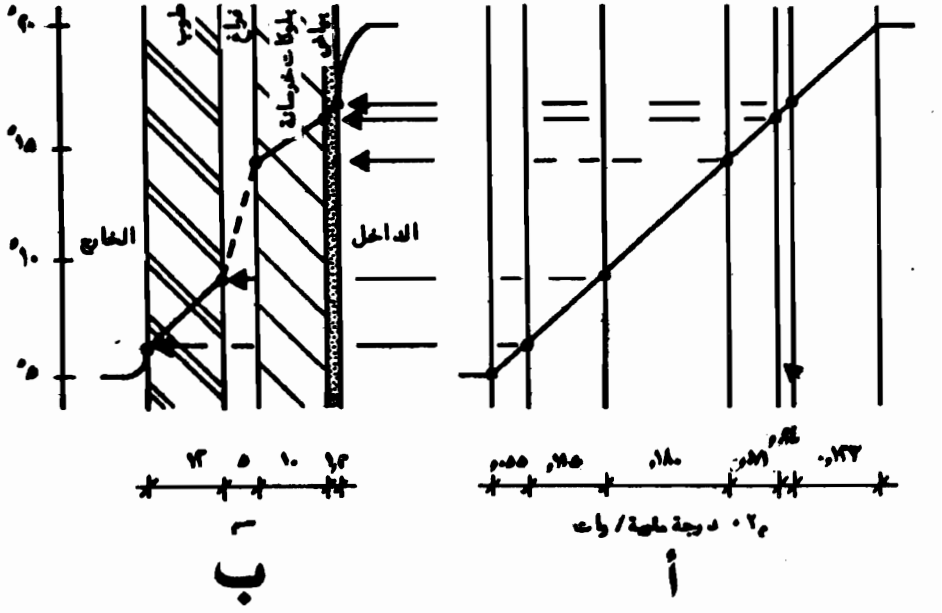
طريقة بيانية لمعرفة درجة حرارة أى نقطة من الحائط (شكل ٤٠) :

- يرسم مقطع (أ) فى الحائط يبين طبقاته المختلفة ، وبمقياس يمثل درجة مقاومته أى $\frac{١}{\lambda}$ بدلاً من السمك .

أى تمثل كلّ ١ر٠ ثانية . م^{٢} . درجة مئوية / چول (١ر٠ م^{٢} . درجة مئوية/وات) بـ ١ سم مثلا .

- وبجانب هذا يرسم قطاع (ب) عادى للحائط وليكن بمقياس ١ : ١٠ .

- يوقع مقياس فى الاتجاه الرأسى لدرجة الحرارة يناسب كلاً من القطاعين ليكن ٣ مم لكل درجة مئوية ، وذلك على نهايتى القطاع (ب) .



شكل ٤٠ : طريقة بيانية لمعرفة درجة حرارة طبقات الحائط المتتالية

- تُوقّع درجة الحرارة على كلّ من السطح الخارجى والداخلى للحائط وتُوصلا بمستقيم يقطع طبقات المقطع (أ) .

- تسقط نقط التقاطع التى تمثل درجات حرارة الطبقات المختلفة على القطاع (ب) لتعطى صورة عن تدرج الحرارة داخل مقطع الحائط .

التحكم فى الانتقال الحرارى بين البيئة الخارجية والوسط الداخلى للمبنى :

هو يتم عن طريق اختيار مواد البناء وطريقة الإنشاء المناسبة واستخدام العناصر المعمارية للمبنى بطريقة ملاءمة .

المناطق الحارة الجافة :

بالنسبة للمناطق الحارة الجافة فإن فاعلية الدور الذى يلعبه الغلاف الخارجى فى تحديد كمية الحرارة المنتقلة من وإلى المبنى تتوقف على اختيار مادته طبقاً لخواصها الحرارية وعلى طريقة تصميمه إذ :

- تؤثر زيادة المقاومة الحرارية للمادة بتخفيض حدة تدفق الحرارة من الخارج إلى الداخل وبالعكس .

- يلعب اللون الخارجى الفاتح لغلاف المبنى دوراً رئيسياً فى زيادة مقاومته لتدفق الحرارة بسبب خواص الانعكاس التى تقلل حدة النفاذ الحرارى خلاله .

- تلعب كثافة مادة البناء دوراً هاماً فى رفع مقاومته الحرارية حيث يؤدى استخدام مواد ثقيلة ذات سعة حرارية كبيرة إلى زيادة التخلف الزمنى مما يحافظ على درجات الحرارة ثابتة بالداخل لأطول فترة ممكنة .

- يعطى استعمال الحوائط المفرغة أو المزدوجة نتائج طيبة للحد من نفاذ الحرارة حيث إن الهواء المحصور بين جزأيها يعمل عازلاً حرارياً . إلا أنه يجب

تحريك هذا الهواء باستمرار بجعل فتحات أعلى وأسفل الحائط الخارجى ، وذلك لأن ركوده يؤدى إلى سخونته وانخفاض فاعليته كعازل (شكل ٤١).

- يعتبر استعمال مواد العزل الحرارى مثل الصوف الزجاجى والفلين واللباد وغيرها من أفضل الوسائل ، وتتميز بخفة الوزن مع إمكان استعمال طبقات متعددة وبأشكال متنوعة . وقد أدت كفاءة هذه المواد وإمكاناتها إلى الاستفادة منها فى تصنيع حوائط سابقة التجهيز خفيفة وسهلة التركيب وفى نفس الوقت لها قوة عزل حرارى تفوق الحوائط التقليدية (شكل ٤٢) .
- يجب زيادة مسطح الظلال على الواجهات وذلك بمعالجتها ضد أشعة الشمس باتباع الطرق السابق ذكرها .

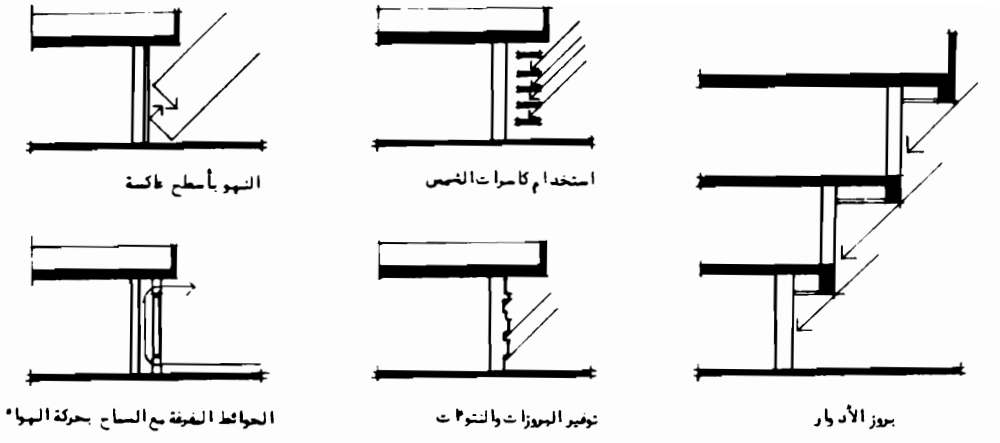
المناطق الحارة الرطبة :

ويختلف الوضع تماماً بالنسبة للمناطق الحارة الرطبة حيث يكون المدى الحرارى اليومى صغيراً وتكون الوظيفة الأساسية للغلاف الخارجى هى الحماية من العوامل المناخية مثل الشمس والرياح والأمطار ، لذلك يتطلب الأمر استخدام الحوائط الخفيفة المسامية التى تسمح " بتنفس " المبنى وسريان الهواء داخله مما يخفف وطأة الإحساس بالرطوبة .

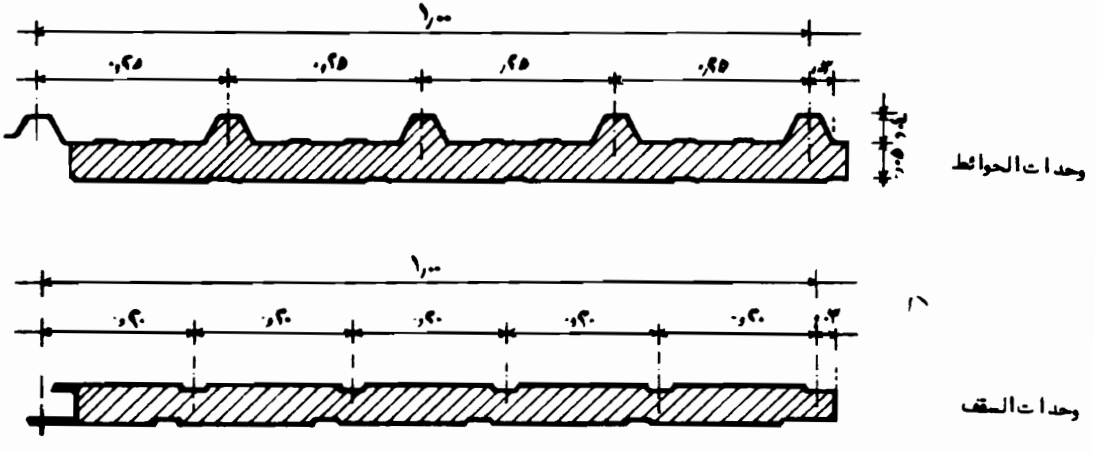
ولأن الحوائط قليلة السمك فإن درجة الحرارة الداخلية ترتفع بشدة إذا لم تأخذ تلك الحوائط حقها فى التظليل .

وفى تلك المناطق يستحسن اللجوء إلى بروز السقف أو إلى كاسرات الشمس فى التظليل ، ذلك لأن كثافة النباتات أمام المبنى قد تؤدى إلى إعاقة حركة الهواء المطلوبة ، كما أنها بتنفسها تزيد من الرطوبة فى الجو الأمر الذى يؤدى إلى عدم الراحة .

ويجب اجتناب أى تخزين حرارى كما يجب أن تكون مسطحات كبيرة من الحوائط قابلة للفتح وذلك بغرض التهوية .



شكل ٤١ : بعض معالجات للحوائط التى ترفع من كفاءة العزل الحرارى لها



شكل ٤٢ : الألواح المعزولة Sandwitch Panel

- سطح اللوح من الصاج الملون أو الألومنيوم أو الخشب المضغوط أو الهاردبورد
- المادة العازلة الداخلية البولي يوريتان أو البولي أستيرين

وتجدر الإشارة هنا بأن الدهان باللون الأبيض أو الفضى يعكس جيداً الإشعاعات الحرارية لكنه فى الوقت ذاته يسبب زغللة غير مريحة ، لذا يجب الابتعاد عن الأبيض الناصع واستخدام الألوان الفاتحة أو الباهتة .

وتسرى المبادىء الأساسية فى معالجة الحوائط على الأسقف أيضاً حيث يجب استعمال أسقف خفيفة عاكسة مظللة جيدة التهوية للوصول بالمناخ الداخلى إلى نتيجة مريحة .

* * *