مقرر التدفئة المركزية

السنة الثانية

الدكتور المهندس ميسم زريفة

1-1 مقدمـة :

حتى يتمكن المهندس من تصميم وحدات أو أنظمة التدفئة والتكييف، لابد من حساب الضياعات الحرارية للمبنى شتاءاً، والكسب الحراري صيفاً، اللذين يعتمدان بدورهما بشكل أساسي على طرق انتقال الحرارة التي يمكن أن نلخصها لسهولة فهمها بطرق ثلاث :

1-2 التوصيل الحراري :

هو انتقال الطاقة الحرارية من جزيئات الجسم الصلب الأسخن إلى الجزيئات الأقل سخونة والتي على تماس معها، نتيجة اختلاف درجة الحرارة بينها.

يصادف التوصيل الحراري في الأجسام الصلبة والموائع الساكنة، والشرط الأساسي لحصوله وجود جزيئات المادة في احتكاك مباشر . تتناسب كمية الحرارة q_x المنتقلة بالتوصيل الحراري في اتجاه اختياري x طرداً مع السطح المتعامد مع اتجاه انتقال الحرارة A ومع تدرج الحرارة dt/dx في الاتجاه x .

$$q_x = -\lambda . A . dt/dx \qquad W \qquad (2.1)$$

حيث :

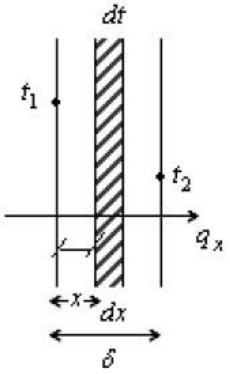
q_x : كمية الحرارة المنتقلة بالتوصيل الحراري ؛ $[W]$.

λ : عامل التوصيل الحراري ؛ $[W/m.C^o]$.

A : السطح المتعامد مع اتجاه السيالة الحرارية ؛ $[m^2]$.

dt/dx : التدرج الحراري ؛ $[^\circ c/m]$.

تعبّر الإشارة السالبة عن انتقال الحرارة في الاتجاه المتعاكس لتدرج الحرارة، والشكل (2-1) يوضح التوصيل الحراري عبر شريحة من جدار مستوٍ متجانس ، سماكتها dx ، وتبعد مسافة x عن طرف الجدار .



الشكل (2-1) التوصيل الحراري عبر شريحة من جدار مستوٍ متجانس

وبحل المعادلة التفاضلية السابقة على الجدار نفسه في حالة التوصيل الحراري المستقر وفي حال ثبات q_x, λ, A ، نحصل على قانون فوريه في التوصيل الحراري عبر جدار مستوٍ متجانس .

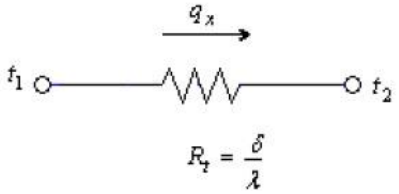
$$Q_x = \frac{\lambda}{\delta}(t_1 - t_2).A \qquad W \qquad (2.2)$$

حيث :

δ : سماكة الجدار ؛ [m] .

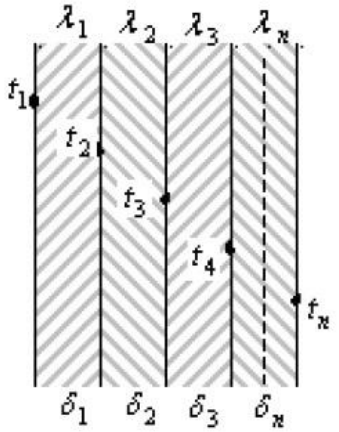
$\frac{\delta}{\lambda} = R_t$: المقاومة الحرارية للتوصيل الحراري ؛ [$\frac{m.m.C^o}{W}$] .

وبتمثيل المقاومة الحرارية للتوصيل الحراري بدارة كهربائية نحصل على الشكل (2–2) والذي يبين مقاومة حرارية للتوصيل الحراري عبر جدار متجانس مستوٍ مفرد .



الشكل (2–2) المقاومة الحرارية للتوصيل الحراري عبر جدار متجانس مستوٍ مفرد

2–1–1 حالة جدار مؤلف من عدة طبقات متجانسة (n طبقة) ، الشكل (2–3) :

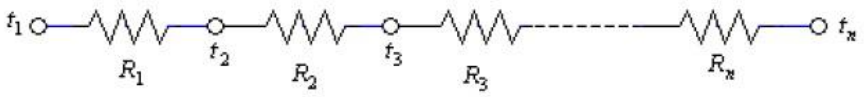


الشكل (2–3) التوصيل الحراري عبر جدار مستوٍ مؤلف من n طبقة

تعطى كمية الحرارة المنتقلة بالتوصيل عبر كامل الجدار بالعلاقة الآتية :

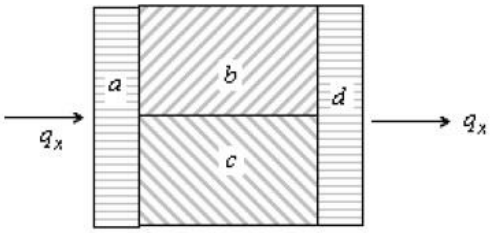
$$Q = \frac{t_1 - t_n}{\sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}} . A \qquad (2.3)$$

وبتمثيل التوصيل الحراري للجدار السابق عن طريق الدارات الكهربائية نحصل على الشكل (2–4) .



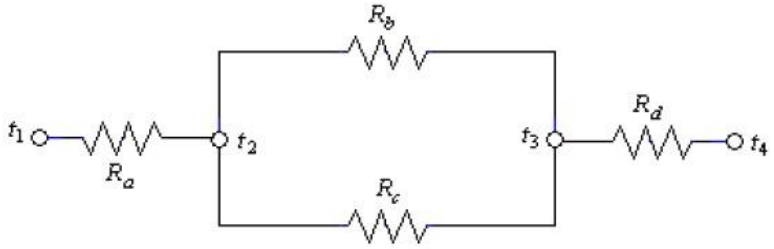
الشكل (2–4) المقاومة الحرارية للتوصيل الحراري عبر جدار مستوٍ مؤلف من n طبقة

2-1-2 حالة جدار مؤلف من عدة طبقات غير متجانسة ، الشكل (2-5) :



الشكل (2-5) التوصيل الحراري عبر جدار مستوٍ مؤلف من عدة طبقات غير متجانسة

لحل هذه المسألة، نمثل المقاومات الحرارية لطبقات الجدار على شكل دارة كهربائية ، فنحصل على الشكل (2-6) .



الشكل (2-6) المقاومة الحرارية للتوصيل الحراري عبر جدار مستوٍ مؤلف من عدة طبقات غير متجانسة

وتعالج المقاومات الحرارية بالطريقة نفسها التي تعالج بها المقاومات الكهربائية من حيث جمع المقاومات على التسلسل ، وجمع مقلوبها على التوازي للحصول على المقاومة الكلية المكافئة .

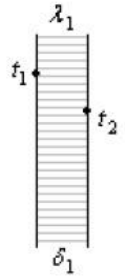
تعطى المقاومة المكافئة في هذه الحالة بالعلاقة الآتية :

$$R_{ek} = R_a + \left(\frac{R_b \times R_c}{R_b + R_C}\right) + R_d \qquad \frac{m.m.C^o}{W} \qquad (2.4)$$

تمتاز المعادن بإيصالية حرارية مرتفعة، على عكس العوازل الحرارية . وفيما يتعلق بمواد البناء ، فإن تلك المواد التي تمتلك كثافات أعلى هي عادة قاسية وعوازل غير جيدة ، بينما المواد المسامية تكون سيئة التوصيل عندما تكون جافة ، وذات ناقلية جيدة عندما تكون رطبة (حالة سكن بناء حديث الإنشاء قبل أن يجف) .

مثال (1) : جدار من البلوك الأسمنتي المفرغ ، سماكته $15cm$ عامل توصيله الحراري $\lambda = 0,7 W/m.C^o$ ، درجة حرارة سطحه الداخلي $20\ C^o$ ، والخارجي $-2°C$.

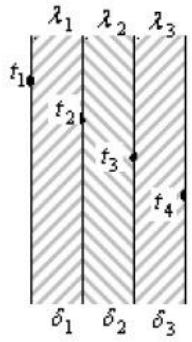
احسب شدة التوصيل الحراري المارة عبر الجدار .



الحل :

$$q = \frac{\lambda}{\delta}(t_1 - t_2) = \frac{0,7}{0,15}(20+2) = 102,67 \qquad \frac{W}{m^2}$$

مثال (2) : احسب شدة التوصيل الحراري للجدار السابق نفسه ، إذا تم تلبيسه من الداخل والخارج بليسة أسمنتية سماكتها $2\ cm$ ، وعامل توصيلها الحراري $1,16 W/m.C^o$، ودرجات الحرارة بقيت ذاتها (إنما بعد الليسة) .



الحل :

$$q = \frac{t_1 - t_n}{\sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}} = \frac{20+2}{2\times\frac{0,02}{1,16} + \frac{0,15}{0,7}} = 88,5 \quad \frac{W}{m^2}$$

مثال (3) : يتكون جدار منزل من طبقة من القرميد سماكتها $0,125m$ ، وعامل توصيلها الحراري $0,7\ W/m.C^o$ ، وطبقة من الجبسين سماكتها $4cm$ وعامل توصيلها الحراري $0,48\ W/m.C^o$.

قارن معدل انتقال الحرارة خلال الجدار بمعدل انتقال الحرارة من جدار مماثل عند وجود مقاومة تماس بين الطبقتين مقدارها $0,1\ \frac{m^2C^o}{W}$ (مقاومة التماس تحصل نتيجة عدم تطابق الطبقتين بشكل محكم) .

الحل : معدل انتقال الحرارة :

- في الحالة الأولى :

$$\frac{q_1}{\Delta t} = \frac{1}{\frac{0,125}{0,7} + \frac{0,04}{0,48}} = 3,82 \quad \frac{W}{m^2C^o}$$

- في الحالة الثانية :

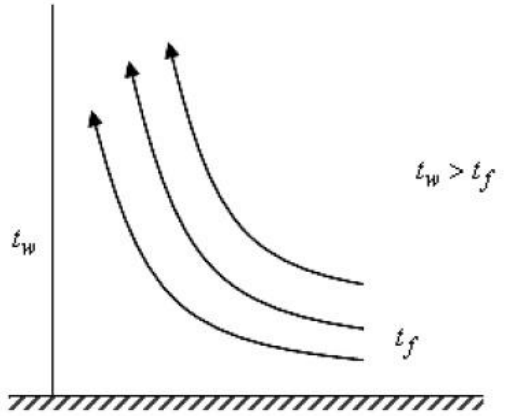
$$\frac{q_2}{\Delta t} = \frac{1}{\frac{0,125}{0,7} + 0,1 + \frac{0,04}{0,48}} = 2,76 \quad \frac{W}{m^2C^o}$$

2-2 الحمل الحراري :

هو انتقال الطاقة الحرارية بين سطح جسم صلب و وسط سائل او غازي متحرك، ويتم ذلك إما بشكل طبيعي نتيجة اختلاف في كثافة الوسط(حمل حر) أو نتيجة تحريك الوسط بمؤثر خارجي(حمل قسري). و يصادف الحمل الحراري بين كل الأجسام الصلبة المجاورة لوسط مائع، والشرط الأساسي لحصوله حركة المائع ، وحسب القوة المسببة للجريان نميز نوعين من الحمل الحراري هما :

آ- **الحمل الحر** : ويحصل نتيجة حركة المائع بسبب فرق الكثافة (فرق درجات الحرارة) بين جزيئات المائع .

ب- **الحمل القسري** : ويحصل نتيجة حركة المائع بسبب مؤثر خارجي (مضخة – مروحة – فرق منسوب ...) .



الشكل (2–7) يمثل الحمل الحر في مائع مجاور لجدار من طرف واحد ومختلف عنه بدرجة الحرارة

تعطى كمية الحرارة المنتقلة بالحمل الحر بين جزيئات مائع مجاور لجدار مختلف عنه بدرجة الحرارة ، الشكل (2–7) . بقانون نيوتن الآتي :

$$q_c = \alpha_c . A (t_w - t_f) \qquad (2.5)$$

حيث α_c : معامل انتقال الحرارة الوسطي بالحمل الحر ؛ $[W/m^2C^o]$.

A : سطح التبادل الحراري ؛ $[m^2]$.

t_f , t_w : على التوالي ، درجة حرارة الجدار والمائع ؛ $[C^o]$.

مثال (5) : جدار من الحجر الكلسي سماكته $25cm$ وعامل توصيله $0,7W/m.C^o$ ، درجة حرارة سطحه الخارجي $2C^o$ ، سطحه الخارجي معرّض لرياح باردة درجة حرارتها $-5\ C^o$.

احسب معدل انتقال الحرارة بالحمل لكل متر مربع من مساحة الجدار ، علماً أن معامل انتقال الحرارة بالحمل بين المائع والجدار من الجهة الخارجية $30W/m.C^o$.

الحل :

$$q_c = \alpha_c . A (t_w - t_f - t_w)$$

$$q_c = 30.1.(2+5) = 210 \quad W/m^2$$

يحسب الحمل القسري من علاقات تجريبية ، حسب حالة الجريان التي تتعلق برقم رينولدز وموضع الجريان (هل ضمن أنبوب أو فوق سطح مستوٍ أو على أسطوانة ...) . وخير مثال على الحمل الحراري الحر : مشعات التدفئة ، والدليل على حصوله انتقال الحرارة داخل المكان المدفأ ، ووجود ظل أسود على السقف فوق المشعات نتيجة حركة الهواء إلى الأعلى بسبب فرق الكثافة .والشيء نفسه فوق لمبة المغسلة في المنازل (أو أي لمبة جدارية) .

وخير مثال على الحمل القسري : عملية النفخ على ملعقة الطعام أثناء الأكل (للتبريد والتسخين). أو عملية تدفئة وتبريد المباني باستخدام (الفانكويلات أو الايروترمات) .

3-2 الإشعاع الحراري :

يحصل بين كل الأجسام التي يفصل بينها وسط شفاف، والشرط الأساسي لحصوله وجود الأجسام بدرجة حرارة مختلفة عن الصفر المطلق ، ولا داعي لا لاحتكاك ولا لحركة هواء حيث يحصل الإشعاع حتى في الفراغ ، وهو عبارة عن تدفق فوتوني يمتاز بكتلة وكمية حركة وساحة كهرومغناطيسية ، ينتقل من جسم إلى آخر على شكل أمواج كهرومغناطيسية ، ويعبر عنه رياضياً (قانون ستيفان بولتزمان) بالشكل الآتي :

$$E_r = \varepsilon . C_o \left(\frac{T}{100}\right)^4 \qquad \frac{W}{m^2} \qquad (2.6)$$

حيث : E_r : الإشعاع الذاتي التكاملي للأجسام الرمادية ؛ $[W/m^2]$.

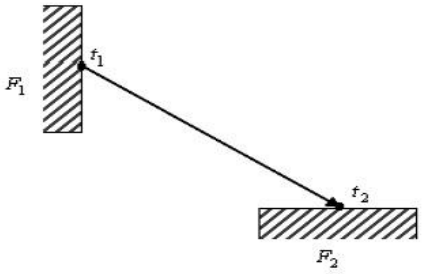
ε : درجة سواد الجسم المشع .

C_o : عامل إشعاع الجسم الأسود ، ويُحدد بالعلاقة الآتية :

$$C_o = 5{,}6687 \ \frac{W}{m^2 K^4}$$

T : درجة الحرارة المطلقة للجسم المشع ؛ $[K]$.

والشكل (2-8) يبين الحمل الحراري المتبادل بالإشعاع بين جسمين مستويين مختلفين بدرجة الحرارة .



الشكل (2-8) الإشعاع الحراري بين جسمين مختلفين بدرجة الحرارة ($T_2 = 0 \ K$)

ويعطى الحمل الحراري المتبادل بين جسمين مستويين مختلفين بدرجة الحرارة بالعلاقة:

$$q_{F_{1-2}} = C_n . \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \right] \qquad \frac{W}{m^2} \qquad (2.7)$$

حيث :

T_1 , T_2 : درجة الحرارة المطلقة للجسم الأول والثاني على التوالي ؛ $[K]$.

C_n : عامل الإشعاع المكافئ للأجسام الرمادية ، ويُحدد بالعلاقة الآتية :

$$C_n = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_o}} \qquad (2.8)$$

حيث :

C_1 : عامل إشعاع الجسم الأول ؛ $[W/m^2K^4]$.

C_2 : عامل إشعاع الجسم الثاني ؛ $[W/m^2K^4]$.

وحسب قانون كيرشوف ، فإن الأجسام التي تشع حرارة بشكل جيد تمتص حرارة بشكل جيد :

$$\varepsilon \equiv A \qquad (2.9)$$

A : عامل امتصاص الجسم ، $(A = 0 \to 1)$.

ε : عامل إشعاع الجسم ، $(\varepsilon = 0 \to 1)$.

وللجسم المثالي أو الأسود $\varepsilon = A = 1$.

فالسطح المغطى بالأسود أو المدهون بالإسفلت الأسود، غالباً ما يشاهد مغطى بالصقيع في الليالي الباردة بشكل أكثر من الأسطح المجاورة غير المدهونة بسبب الإشعاع المعاكس إلى الوسط الخارجي .

عملياً، تمتاز المعادن الكامدة أو المواد المستخدمة في البناء بدرجة سواد قريبة من 0,95، والمواد العالية الصقل مثل صفائح الألمنيوم بدرجة سواد قريبة من 0,05 .

مثال (6) : احسب شدة التبادل الحراري بالإشعاع بين جدارين متوازيين غير محدودين ، إذا علمت أن :

درجة حرارة الأول $T_1 = 800K$ ، والثاني $T_2 = 400K$ ، وأن عامل إشعاع السطح الأول $C_1 = 5{,}1\ W/m^2K^4$ ، والسطح الثاني $C_2 = 4{,}2\ W/m^2K^4$ ، وعامل إشعاع الجسم الأسود $C_0 = 5{,}6687\ W/m^2K^4$ ، (أهمل الضياع الحراري مع الوسط المحيط) .

الحل :

$$q_{F1-2} = \varepsilon_n . C_o \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \right]$$

$$\varepsilon_n = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_o}}$$

$$q_{F1-2} = \frac{1}{\frac{1}{5{,}1} + \frac{1}{4{,}2} - \frac{1}{5{,}6687}} \left[\left(\frac{800}{100}\right)^4 - \left(\frac{400}{100}\right)^4 \right] = 15000\ \frac{W}{m^2}$$

إن التقسيم السابق لعمليات انتقال الحرارة هو تقسيم شرطي ووهمي ، لأن العمليات السابقة لا تصادف بشكل منفرد بل بشكل مركب أو متتالٍ (حالة انتقال الحرارة من المشعات إلى الهواء – حالة انتقال الحرارة من داخل فرن إلى خارجه عبر جدار الفرن – حالة انتقال الحرارة من داخل غرفة إلى خارجها عبر جدارها ...) . انتقال الحرارة المركب، يسمى بالنفوذ الحراري . وهذه مسألة هامة جداً في عمليات العزل الحراري والرطوبي للأبنية ، وفي راحة الإنسان ، وفي تصميم أنظمة التدفئة والتكييف والتهوية .

مثال (7) : جدار من القرميد سماكته $12,5\ cm$ وعامل توصيله الحراري $0,7\ W/m.K$. معرض من أحد جانبيه إلى رياح باردة درجة حرارتها $270K$ وعامل انتقال الحرارة $30\ W/m^2.C^o$ ، بينما يتعرض من الجانب الآخر لهواء ساكن درجة حرارته $330K$ ، وعامل انتقال الحرارة بالحمل الحر $5\ W/m^2.K$. احسب معدل انتقال الحرارة لكل متر مربع من مساحة الحائط .

الحل : نحسب المقاومة الحرارية الكلية لكل متر مربع من المعادلة الآتية :

$$q_{tot} = \frac{1}{\alpha_0 A} + \frac{\delta}{\lambda A} + \frac{1}{\alpha_1 A}$$

$$= \frac{1}{30} + \frac{0,125}{0,7} + \frac{1}{5} = 0,412 \qquad k/W$$

نحسب معدل انتقال الحرارة كما يلي :

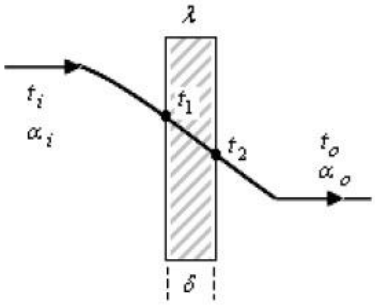
$$q = \frac{\Delta T}{q_{tot}} = \frac{330-270}{0,412} = 145,66 \qquad \frac{W}{m^2}$$

مقدمـة :

بسبب اختلاف درجة الحرارة الداخلية للمباني عن درجة حرارة الجو الخارجي، يحصل انتقال مستمر للحرارة تكون جهته شتاءً من الداخل إلى الخارج ويسمى ضياعاً، وتكون جهته من الخارج إلى الداخل صيفاً ويسمى كسباً حرارياً ، وفي الحالتين كلتيهما يتم انتقال الحرارة بالنفوذ الحراري . **تعريف النفوذ الحراري : انتقال حرارة مركب يحصل على الأغلب بالتوصيل والحمل والإشعاع معاً من وسط إلى آخر مختلفين بدرجة الحرارة عبر جدار يفصل بينهما .**

1-3 النفوذ الحراري عبر جدار مستوٍ مفرد :

لنفترض أنه لدينا جدار مستوٍ متجانس ، الشكل (3-1) ، خواصه الفيزيائية ثابتة ، تمدده الحجمي صغير ومهمل ، لا يوجد فيه منبع طاقة داخلي ، يفصل بين وسطين مختلفين بدرجة الحرارة t_i , t_o (حيث $t_i > t_o$) .



الشكل (3-1) النفوذ الحراري عبر جدار مستوٍ مفرد يتم انتقال الحرارة :

من الوسط الداخلي إلى السطح الداخلي للجدار عن طريق الحمل والإشعاع ، حيث :

α_i : عامل انتقال الحرارة الداخلي بالحمل والإشعاع ، أو عامل التوصيل السطحي الداخلي .

من السطح الداخلي للجدار إلى السطح الخارجي له عن طريق التوصيل حيث :

λ : عامل التوصيل الحراري للجدار ، δ : سماكة الجدار .

من السطح الخارجي للجدار إلى الوسط الخارجي عن طريق الحمل والإشعاع حيث:

α_o : عامل انتقال الحرارة الخارجي بالحمل والإشعاع ، أو عامل التوصيل السطحي الخارجي .

بترجمة الكلام السابق على شكل علاقات رياضية يمكن أن نعبّر عن انتقال الحرارة من الوسط الداخلي إلى السطح الداخلي للجدار بالعلاقة الآتية :

$$q_i = \alpha_i (t_i - t_1) \Rightarrow t_i - t_1 = \frac{q_i}{\alpha_i} \qquad (3.1)$$

وعبر الجدار بالعلاقة :

$$q_w = \frac{\lambda}{\delta}(t_1 - t_2) \Rightarrow t_1 - t_2 = q_w . \frac{\delta}{\lambda} \qquad (3.2)$$

ومن السطح الخارجي للجدار إلى الوسط الخارجي بالعلاقة :

$$q_o = \alpha_o (t_2 - t_o) \Rightarrow t_2 - t_o = \frac{q_o}{\alpha_o} \qquad (3.3)$$

بالجمع الجبري للعلاقات السابقة ، وباعتبار أنه لا يوجد ضياع حراري ، أي : $q_i = q_w = q_o \equiv q$ ، نحصل على :

$$t_i - t_o = q\left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o}\right) \qquad (3.4)$$

ومنه :

$$q = \frac{t_i - t_o}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o}} = K(t_i - t_o) \qquad \frac{W}{m^2} \qquad (3.5)$$

حيث :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o}} \qquad \frac{W}{m^2.C^o} \qquad (3.6)$$

حيث K : عامل النفوذ الحراري عبر جدار مستوٍ مفرد ؛ [$W/m^2{}^oC$]

تحدد مقاومة النفوذ الحراري عبر جدار مستوٍ مفرد R من العلاقة الآتية :

$$R = \frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o} = R_i + R_w + R_o \qquad \frac{m^2.C^o}{W} \qquad (3.7)$$

حيث :

R_i : مقاومة التوصيل السطحي الداخلي ؛ [$m^2.C^o/W$] .

R_w : مقاومة التوصيل الحراري عبر الجدار ؛ [$m.m.C^o/W$] .

R_o : مقاومة التوصيل السطحي الخارجي ؛ [$m^2.C^o/W$] .

α_i : عامل التوصيل السطحي الداخلي ؛ [$W/m^2.C^o$] . تحدد قيمتها من الجدول (3–1) .

α_o : عامل التوصيل السطحي الخارجي ؛ [$W/m^2.C^o$] . تحدد قيمتها من الجدول (3–2) .

λ : عامل التوصيل الحراري للجدار ؛ [$W/m.C^o$] . تحدد قيمتها من الجدول (3–4) .

δ : سماكة الجدار ؛ [m] .

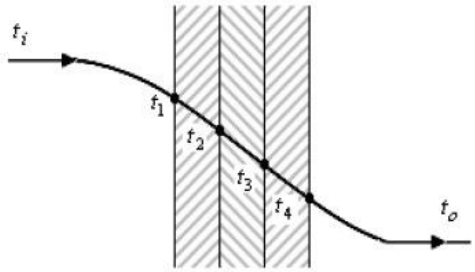
t_i : درجة حرارة الوسط الداخلي (الغرفة) ؛ [C^o] . تحدد قيمتها من الجدول (3–5) .

t_o : درجة حرارة الوسط الخارجي؛ [C^o] . تحدد قيمتها من الجدول (3–6) .

وتحدد كمية الحرارة المنتقلة بالنفوذ عبر السطح بكامله من العلاقة الآتية :

$$Q = K.A.(t_i - t_o) \qquad W \qquad (3.8)$$

2-3 النفوذ الحراري عبر جدار مستوٍ مؤلف من عدة طبقات (n طبقة) :

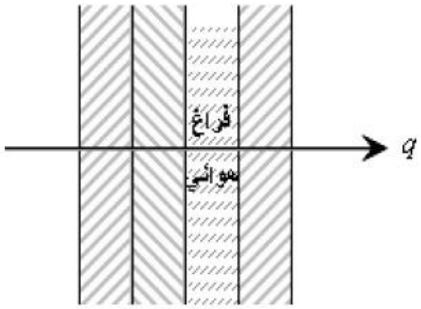


الشكل (3-2) النفوذ الحراري عبر جدار مستوٍ مؤلف من عدة طبقات

في هذه الحالة :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_o}} \qquad \frac{W}{m^2 c} \qquad (3.9)$$

وفي حالة الجدار المؤلف من عدة طبقات يحتوي على طبقة هواء متعامدة مع اتجاه حركة السيالة الحرارية ، الشكل (3-3) فإن :



الشكل (3-3) النفوذ الحراري عبر جدار مستوٍ مؤلف من عدة طبقات ويحتوي على طبقة هواء

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{C_a} + \frac{1}{\alpha_o}} \qquad \frac{W}{m^2 c} \qquad (3.10)$$

حيث : C_a : عامل توصيل الفراغ الهوائي ؛ $[W/m^2.C^o]$. تحدد قيمتها من الجدول (3-3) .

جدول (3–1) يحدد عامل التوصيل السطحي الداخلي α_i

سرعة ا لهواء	نوع عنصر البناء	وضعية السطح	اتجاه انتقال الحرارة	α_i $W/m^2.c$	$R_i = \frac{1}{\alpha_i}$
هواء ساكن (سطح داخلي)	جدار	شاقولي	أفقي	8,13	0,123
	سقف أو أرضية	أفقي	نحو الأعلى	9,43	0,106
	سقف أو أرضية	أفقي	نحو الأسفل	6,66	0,150

جدول (3–2) يحدد عامل التوصيل السطحي الخارجي α_o

سرعة ا لرياح	وضعية السطح	اتجاه انتقال الحرارة	α_o $W/m^2.C^o$	$R_o = \frac{1}{\alpha_o}$
شتاءاً 25 km/h	أية وضعية	أي اتجاه	33,72	0,03
صيفاً 15 km/h	أية وضعية	أي اتجاه	16,7	0,06

جدول (3–3) يحدد عامل توصيل الفراغ الهوائي C_{air}

وضعية الفراغ	اتجاه انتقال الحرارة	سماكة الفراغ cm	C_{air}	$1 / C_{air}$
أفقي	نحو الأعلى	2 – 10	6,74	0,15
	نحو الأسفل	2	5,6	0,18
	نحو الأسفل	10	4,65	0,21
شاقولي	افقي	2 – 10	5,81	0,17

جدول (3–4) يحدد عامل التوصيل الحراري لأغلب المواد المستخدمة في البناء عملياً .

نوع المـادة	λ $W/m.C^o$	γ kg/m^3
هواء	0,027	0,8 – 1,2
صخر سهل الكسر	1,88	2700
جبسين (ألواح)	0,16	950
جبسين	0,46	1300
رخام	1,97	2700
اسبتوس أسمني (رقائق)	0,44	1550
اسبستوس أسمني (رقائق)	0,58	1900
زفت مع خيش	0,4	-
تبن	0,058	300
أميانت	0,11	200 – 2800
ماء $p = 28\,b_{er.} - 170\,C^o$	0,58 0,87	1000 897,3
بخار $p = 12\,b_{er.} - 190\,C^o$	0,67 0,0341	958,4 6,394
ألواح بلاستيك	0,3	-

أترنيت	0,93	1600 – 2000
بيتون مسلح	1,74	2250 – 2500
بيتون عادي	1,39	2000
مونة أسمنية	1,39	1850
بلوك أسمنتي	1,16	1800
بلوك مفرّغ أو هوردي	0,7	1400
حجر كلسي أو رملي	1,86	2400
حجر كثيف (غرانيت)	3,78	3000
حجر كثيف (غرانيت)	2,9	2500
بخار ماء $T = 145\ C^o$ و $p = 3,2\ b_{er}$	0,033	2,256
توريقة كلسية (زريقة)	0,87	1860
توريقة جبسية (زريقة)	0,81	1680
توريقة أسمنية (زريقة)	1,16	2000
خشب قاسي (سنديان – بلوط)	0,16	720
خشب طري (شوح – صنوبر)	0,12	510
خشب صنوبر مطلي بالزفت	0,14	650
ألواح خشب معاكس	0,12	550
كرتون	0,26	-
ألواح فلين	0,041	120
صوف معدني زجاجي	0,041	50
صوف خبتي	0,058	200
نشارة خشب غير مرصوصة	0,065	200
نحاتة	1,97	-
بلاط	1,39	2000
هوردي	0,7	-
اسبل	0,7	-
باركيت (قطع خشبية تركب فوق الأرضيات)	0,174	-
جليد	2,2	920
قرميد مضغوط	0,12	500
رصاص	34,8	11400
زنك (رقائق)	112	7200
قصدير	63,8	7300
زئبق	6,96	13600
ألمنيوم	209	2700
نحاس (رقائق)	385	8800
حديد مطاوع	60,3	7700
نحاس أصفر (سبيكة)	109	8100
حديد صب	47,56	7700
زجاج	0,81	2500
ورق	0,128	1000
اسبستوس	0,15	2500

لبّاد	0,038	-
صوف	0,038	1320
إسفلت	0,7	2100
لينوليوم	0,186	1200
رماد	0,07	700
فحم الخشب	0,088	400
رمل ناشف	0,35	1600
بلوكاج (كتل صخرية مع تراب ردم)	1,74	-
تراب ردم	0,58	-
رمل وبحص برطوبة عادية	1,39	-
ركل وبحص ناشف	0,81	-
قرميد حراري ($400\ C^o$)	1	2000
قرميد أحمر عادي	0,72	-
قرميد (وحل مشوي)	0,85	1900
خزف	0,16	500
بينو بيتون	0,29	800
بينو بيتون	0,21	600
بير ليتو بيتون	0,26	800
ستيروبور (ألواح)	0,037	20
بينو بولي اوريتان (ألواح)	0,035	50
موكيت	0,055	-
سجاد – صوف	0,046	-
بورسلان	0,77	2400

جدول (3–5) يبين درجة حرارة الغرفة شتاءاً t_i

نوع الأبنية واستعمالات الغرف		شتاءً		صيفاً	
		درجة الحرارة الجافة	الرطوبة النسبية %	درجة الحرارة الجافة	الرطوبة النسبية %
		C^o	C^o	C^o	C^o
الأبنية السكنية	غرف الجلوس ، والنوم ، والطعام	22	40 – 50	24 – 25	40 – 50
	المداخل والممرات ودورات المياه	18	-	26 – 28	-
	الحمامات	26	-	26 – 28	-
	المطابخ	20	40 – 50	24 – 25	40 – 50
	بيت الدرج	14	-	-	-
أبنية المكاتب	غرف المكاتب والاجتماعات ، محاكم ، مكتبات	20	40 – 50	24 – 25	40 – 50
	المداخل والممرات ودورات المياه	16	-	26	-
	القاعات – قاعات العمل الجماعي	18	-	-	-
	بيت الدرج	14	-	-	-

الفنادق	غـرم النـوم ، والجلـوس ، والأبهـاء ، والمطاعم ، وتبديل الملابس	22		26 – 28	40- 50
	الحمامات	24	-	26 – 28	-
	المطابخ ، ودورات المياه ، والبارات	18	-	26 – 28	-
المدارس والمعاهد	الصفوف ، وغرف الإدارة ، والمكاتب ، وعرف الاجتماعات ، والمخابر	20	40 – 50	25 – 26	40 – 50
	الملاعب المغلقة ، وعرف الألعاب	16	40 – 50	24 – 25	40 – 50
	الممرات ، وبيت الدرج ، ودورات المياه	16	-	-	-
المستشفيات	حمامات	26	-	-	-
	عرف المرضى ، والمعاينة	22	45 – 50	24 – 25	45 – 50
	الصيدلية والمخابر	20	45 – 50	24 – 25	45 – 50
	غرف العمليات والعناية المشددة	24 – 25	45 – 50	23 – 24	45 – 50
	دورات المياه والممرات وبيت الدرج	18	-	26 – 28	-
	الأشعة	24	40	24	50
	عمليات	24	50	24	55
	مدرج	22	50	24	50
	غسيل الكلية	20	40	20	45
	مخابر وتحميض	24	45	24	45
	التعقيم المركزي	20	50	24	50
	برادات جثث (حفظ 24 ساعة)	5 –	-	-	-
	برادات جثث (حفظ خمسة أيام)	10 –	-	-	-
المسارح ودور السينما	صالات العرض وغرف الاستراحة	20	45 – 55	24 – 25	45 – 55
	دورات المياه	16	-	-	-
	دورات الإنتاج والورشات	18 – 21	35 – 45	25 – 27	35 – 45
المسابح المغلقة	28 شريطة ألا تزيد أكثر من درجتين عن درجة حرارة الماء		-	-	-
المطارات	صالات الانتظار وتسليم الأمتعة والمكاتب والأبهاء	20 – 22	40 – 50	24 – 25	40 – 50
الجوامع والكنائس ، معارض ، مكاتب شرطة ، بارات		18	40 – 50	25 – 26	40 – 50
المخازن ، محلات البيع ، المصارف		20 – 21	40 – 45	25 – 26	40 – 45
المطاعم العامة ، الكافتريات ، غرف الطعام ، مخابر ، محاكم ، مكتبات		20 – 22	40 – 50	24 – 25	40 – 50
المعارض ، وصالات عرض الأعمال الفنية		حسب تعليمات العارض			
مرائب السيارات (كاراجات)		14	-	-	-
المصانع والورش الميكانيكية ، صالات البنوك		15 – 18	-	-	-
مصانع أعمال ثقيلة ، مناطق التخزين في المخازن		13	-	-	-
مصانع (أعمال لحام)		19	-	-	-
سجون		15	-	-	-
ورش ومعامل		15 – 18	-	-	-

جدول (3–6) يبين درجة الحرارة التصميمية t_o (الشروط الخارجية)

المدينة	خط العرض		الارتفاع عن سطح البحر	سرعة الرياح	درجة الحرارة الجافة التصميمية C^o		الرطوبة النسبية التصميمية %	
	دقيقة	درجة	m	m/s	شتاءً	صيفاً	شتاءً	صيفاً
دمشق	29	33	729	7,5	– 2	40	70	30
حلب	11	36	392	6,0	– 3	40	75	35
حمص	45	34	487	8,0	– 3	38	80	40
حماة	08	35	309	7,5	– 4	40	80	35
اللاذقية	37	35	7	7,5	+ 4	36	90	30
طرطوس	53	34	15	5,5	+ 4	36	90	50
إدلب	56	35	435	6,5	– 2	38	75	35
درعا	36	32	560	6,5	– 2	39	75	30
السويداء	35	36	972	6,5	– 2	38	70	35
القنيطرة	07	33	941	7,0	– 2	37	75	30
الحسكة	30	36	300	6,5	– 3	42	70	25
دير الزور	20	35	203	7,5	– 3	42	75	20
الرقة	57	35	250	5,5	– 3	40	75	30
صافيتا	49	34	350	7,5	– 1	36	80	45
تدمر	33	34	404	2,5	– 2	42	80	25
النبك	02	34	1333	8,5	– 4	36	70	30
السلمية	00	35	480	5,5	– 2	40	80	30

جدول (3–7) يبين قيمة عامل النفوذ الحراري K للنوافذ والواجهات الزجاجية $W/m^2.c$

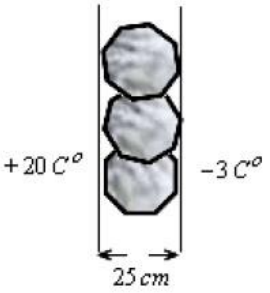
النوع	واجهات		نوافذ (ألواح زجاجية مع إطارات) 30% للخشب و $P.V.C$ ، 10% للمعدن			
	شاقولي	أفقي	خشب	معدن		
				عادي	واقي حراري	$P.V.C$
زجاج مفرد	5,6	7,1	4,5	5,7	5,4	4,7
زجاج مزدوج	2,9	3,6	2,7	3,4	3,1	3
زجاج ثلاثي	1,9	-	2,1	2,7	2,3	2,4
زجاج مزدوج مع تغطية ذات إصداريه منخفضة $\varepsilon = 0,2$	2	2,6	2	2,5	2,1	2,3
زجاج مزدوج مع تغطية ذات إصداريه منخفضة مع تعبئة الفراغ بالأرغون	1,7	2,2	1,9	2,4	2	2,2

جدول (3–8) يبين عامل النفوذ الحراري K للأبواب $W/m^2.c$

نوع الباب		K
باب خارجي	- معدني	6,38
	- خشبي (سماكة $5\ mm$)	2,4
	- مع زجاج بسيط	4,64
	- مع زجاج مزدوج	2,78
باب داخلي	- مع خشب عادي (سماكة $4\ mm$)	1,74
	- مع خشب معاكس مزدوج	1,74

مثال (1) : أوجد عامل النفوذ الحراري لجدار خارجي مستوٍ مؤلف من طبقة واحدة من حجر كلسي بسماكة $25cm$. ثم احسب كمية الحرارة المنتقلة عبر الجدار ، إذا كانت أبعاده $4\times5m^2$ ، ويفصل بين وسطين ، درجة حرارة الوسط الأول $20\ C^o$ ، والوسط الثاني $-3\ C^o$.

الحل :



$$K=\frac{1}{\frac{1}{\alpha_i}+\frac{\delta}{\lambda}+\frac{1}{\alpha_o}} \qquad \frac{W}{m^2.C^o}$$

من الجداول نحدد $\lambda\ ,\ \alpha_o\ ,\ \alpha_i$:

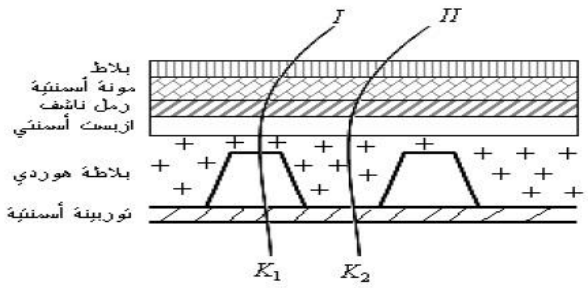
$$\alpha_i=8{,}13 \quad W/m^2C^o$$
$$\alpha_o=33{,}72 \quad W/m^2C^o$$
$$\lambda=1{,}86 \quad W/m.C^o$$

$$K=\frac{1}{\frac{1}{8{,}13}+\frac{0{,}25}{1{,}86}+\frac{1}{33{,}72}} \qquad \frac{W}{m^2.C^o}$$

$$Q=K.A.\Delta t=3{,}48.20.23=1600 \quad W$$

مثال (2) : أوجد عامل النفوذ الحراري لسقف خارجي مؤلف من : توريقة أسمنتية $2cm$ وبلاطة هوردي $22cm$ ($15cm$ هوردي + $7cm$ بيتون مسلح) ، وطبقة من الازبست الأسمنتي $2cm$ ، وطبقة من الرمل الناشف $3cm$ ، وطبقة من المونة الأسمنتية $2{,}5cm$ ، وطبقة من البلاط $2{,}5cm$.

الحل : يدخل الهوردي في البيتون المسلح بنسبة $1/3$ ، وحسب طريقة توزيعه يختل التجانس بين الطبقات ، لذلك نحسب K_1 في المقطع I ، ونحسب K_2 في المقطع II ، ثم نحسب $K=\frac{K_1+2K_2}{3}$.



$$K = \frac{1}{\frac{1}{9,43} + \frac{0,02}{1,16} + \frac{0,15}{0,7} + \frac{0,07}{1,74} + \frac{0,02}{0,44} + \frac{0,03}{0,35} + \frac{0,025}{1,39} + \frac{0,08}{1,39} + \frac{1}{33,72}} = 1,74 \ \frac{W}{m^2 C^o}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{9,43} + \frac{0,02}{1,16} + \frac{0,22}{1,74} + \frac{0,02}{1,44} + \frac{0,03}{0,35} + \frac{0,025}{1,39} + \frac{0,08}{1,39} + \frac{1}{33,72}} = 2,24 \ \frac{W}{m^2 C^o}$$

$$K = \frac{1,74 + 2 \times 2,24}{3} = 2,07 \qquad \frac{W}{m^2 C^o}$$

مثال (3) : احسب كمية الحرارة المنتقلة بالنفوذ عبر جدار خارجي مؤلف من : توريقة كلسيه $1cm$ ، بلوك أسمني مفرغ $10cm$ ، فراغ هوائي $5cm$ ، بلوك أسمنتي مفرغ $10cm$ ، توريقة أسمنتية $1cm$. علماً أن مساحة الجدار $12m^2$ ، ودرجة حرارة الوسط الداخلي $t_i = 22C^o$ ، والوسط الخارجي $t_o = -5C^o$.

الحل :

$$Q = K \,.\, A \,.\, \Delta t$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \Sigma \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{C_{air}} + \frac{1}{\alpha_o}}$$

ومنه :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{8,13} + \frac{0,01}{0,87} + \frac{0,1}{0,7} + \frac{1}{5,81} + \frac{0,1}{0,7} + \frac{0,01}{1,16} + \frac{1}{33,72}} = 0,5$$

$$Q = 0,5 \times 12 \times 27 = 162 \quad W$$

مثال (4) : ادرس حالة عدم التكاثف على الجدار الوارد في المثال (3) .

الحل : شرط عدم التكاثف : $t_{wi} = t_i - \frac{K}{\alpha_i}(t_i - t_o) \geq t_s$

t_s : درجة حرارة نقطة ندى الهواء الداخلي ، وتحدد من المخطط البسايكومتري .

عند درجة حرارة $t_i = 22C^o$ ، $\varphi = 50\%$ و من المخطط نجد أن $t_s = 10,5C^o$ ، ومنه :

$t_{wi} = 22 - \frac{0,5}{8,13}(22+5) = 20,34 > t_s = 10,5$ إذاً ، لا يحصل تكاثف على الجدار .

مثال (5) : ادرس حالة عدم التكاثف على الجدار الوارد في المثال (1) ، وأوجد الحل .

الحل : شرط عدم التكاثف :

$$t_{wi} = t_i - \frac{K}{\alpha_i}(t_i - t_o) \geq t_s$$

عند : $t_i = 20C^o$ و $\varphi = 50\% \Leftarrow t_s = 9,5C^o$

$t_{wi} = 20 - \frac{3,48}{8,13}(20+3) = 10,155 > t_s = 9,5$ إذاً ، لا يحصل تكاثف .

مثال (6) :

جدار شاقولي من البيتون المسلح سماكته $10cm$ ، عامل توصيله $1,74\ W/m.c$. احسب:

1- درجة حرارة سطحه الداخلي إذا كان $t_i = 20\,C^o$, $t_o = -2\,C^o$.

2- بفرض أن الرطوبة النسبية للهواء الداخلي 50% ، فهل يحصل تكاثف على سطحه الداخلي ، وفي حال حصول التكاثف ، اقترح الحلول المناسبة بإعادة تصميم الجدار بحيث لا يحصل التكاثف .

الحل :

$$t_w = t_i - \frac{K}{\alpha_i}(t_i - t_o)$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \Sigma\frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o}} = \frac{1}{\frac{1}{8.13} + \frac{0.1}{1.74} + \frac{1}{33.72}} = 4,75\ \frac{W}{m^2.C^o}$$

درجة حرارة التكاثف :

$$t_w = 20 - \frac{4,75}{8,13}(20+2) = 7.14 \geq t_s$$

نوجد من المخطط البسايكرومتري قيمة t_s بدلالة درجة الحرارة الجافة $20C^o$ والرطوبة النسبية $\varphi = 50\%$ فنجد أن : $t_w > t_s$; $t_s = 9,5\,C^o$ و نتحقق من شرط عدم التكاثف فنجد أن $9,5 > 7.14$ أي سيحصل تكاثف على السطح الداخلي لهذا الجدار . وحتى لا يحصل تكاثف يجب أن يكون :

$$t_w > t_s$$

$$t_i - \frac{K}{\alpha_i}(t_i - t_o) \geq t_s$$

$$t_i - t_s \geq \frac{K}{\alpha_i}(t_i - t_o)$$

$$K \leq \alpha_i \frac{t_i - t_s}{t_i - t_o} = 8,13\frac{20-9,5}{20+2} = 3,88\ \frac{W}{m^2.C^o}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \Sigma\frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o}} = \frac{1}{\frac{1}{8,13} + \frac{\delta}{1,74} + \frac{1}{33.72}} \leq 3,88$$

ومنه $\delta \geq 0.1822\ m$ أي سماكة الجدار اللازمة لتحقيق عدم التكاثف تساوي : $\delta = 18.22\ cm$

مثال (7) : احسب كمية الحرارة المنتقلة بالنفوذ عبر جدار خارجي مؤلف من :

توريقة كلسيه $1cm$ ، بلوك أسمني مفرغ $10cm$ ، فراغ هوائي $5cm$ ، بلوك أسمنتي مفرغ $10cm$ ، توريقة أسمنتية $1cm$.

علماً أن مساحة الجدار $12m^2$ ، ودرجة حرارة الوسط الداخلي $t_i = 22C^o$ ، والوسط الخارجي $t_o = -5C^o$.

الحل :

$$Q = K.A.\Delta t$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \Sigma\frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{C_{air}} + \frac{1}{\alpha_o}}$$

ومنه :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{8,13} + \frac{0,01}{0,87} + \frac{0,1}{0,7} + \frac{1}{5,81} + \frac{0,1}{0,7} + \frac{0,01}{1,16} + \frac{1}{33,72}} = 0,5$$

$$Q = 0,5 \times 12 \times 27 = 162 \quad W$$

3-5 تطبيقات النفوذ الحراري :

من أهم تطبيقات النفوذ الحراري في الأبنية ، العزل الحراري ، وشرط عدم التكاثف .

3-5-1 العزل الحراري :

يقصد بالعزل الحراري في الأبنية تخفيض الضياعات الحرارية عبر الجدران والأسقف والأرضيات والنوافذ والأبواب بنسبة معينة تحقق الشروط الفنية والاقتصادية والصحية عن طريق مواد تسمى بالعوازل الحرارية بقصد تخفيض حجم وحدة التدفئة واستطاعتها واستهلاك الوقود ، وبالتالي ترشيد استهلاك الطاقة ، والحد من تلوث البيئة من جراء انطلاق مركبات الكبريت والآزوت والكربون . كما أن للعوازل الحرارية فوائد صحية ، حيث تمنع انخفاض درجة حرارة السطوح الداخلية للجدران الخارجية إلى حد لا يتناسب مع الشروط الصحية (تحمي الإنسان من الإشعاع البارد) .

تعريف العوازل الحرارية : هي مواد تتميز بعامل توصيل حراري منخفض قيمته تتراوح بين 0,032 – 0,46 $[W/m.c]$.

وحتى يكون العازل الحراري مثالياً ، يجب أن يتميز بالمواصفات الآتية :

- عامل توصيل حراري منخفض .		- لا تتأثر بالوسط المحيط
- كثافة منخفضة		- لا تتأثر بالرطوبة
- مقاومة ميكانيكية عالية نسبياً		- غير قابلة للاشتعال
- مقاومة حجمية عالية نسبياً		- غير قابلة للاهتراء والتأكسد
- مقاومة حرارية عالية نسبياً		- غير قابلة للقضم
- سهولة في التصنيع والتركيب		- رخيصة الثمن
- غير ضارة		- تصنع بأشكال وأبعاد مختلفة

إلا أنه عملياً لا توجد أية مادة بإمكانها تحقيق المواصفات السابقة مجتمعة ، حيث بنية المادة مكّونة هكذا ، فيها بعض الصفات متطورة على حساب الأخرى .

فمثلاً ، حتى تكون المادة ذات مقاومة ميكانيكية عالية نسبياً ، يجب أن تكون كتامتها مرتفعة ، وبالتالي عامل توصيلها الحراري مرتفع ، وهذا يناقض تعريف العوازل الحرارية .

لذلك ، أهم صفتين يجب أن تتوفران في مواد العزل الحراري هما :

– كثافة منخفضة ، – عامل توصيل حراري منخفض .

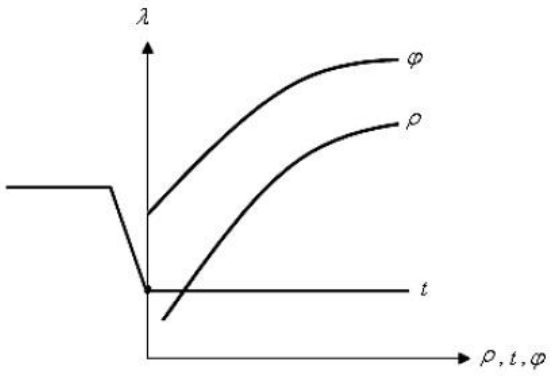
والجدول (3–9) يبين أهم مواد العزل الحراري للأبنية .

الجدول (3–9) أهم مواد العزل الحراري للأبنية .

المادة	الكثافة	السعة الحرارية النوعية	عامل التوصيل الحراري λ
	kg/m^3	$kJ/kg\,.C$	$W/m\,.\,c$
بيتون رغوي	700	1	0,27
بيتون رغوي	500	1	0,18
بيتون خفيف	600	1	0,19
ألواح صوف زجاجي	300	0,7	0,06
رول صوف زجاجي	12	0,84	0,04
صوف زجاجي (لوح أو رول)	25	1	0,035
صوف معدني (منفوخ)	12	0,84	0,04
صوف معدني (رول)	50	1	0,037
صوف معدني (ألواح)	30	1	0,033
ألواح فينول رغوي	30	1,38	0,018
ألواح ستيروبور مشدودة	15	1,38	0,035
ألواح ستيروبور مبثوقة	15	1,4	0,025
ألواح نيوبولي اوريتان CFC	30	1,4	0,019
ألواح نيوبولي اوريتان PHA	30	1,4	0,021
يوريا فورم الدهين (رغوي)	10	1,4	0,031
حبيبات فيرمي كوليت	100	0,83	0,065

تتأثر الإيصالية الحرارية لمواد العزل ولمواد البناء بشكل عام بالرطوبة ، حيث الإيصالية الحرارية لهيكل المادة اللاعضوية يتراوح بين $4,6-7\ W/m.c$ ، بينما الإيصالية الحرارية للهواء الجاف تساوي $0,023\ W/m.c$ ، فبازدياد كثافة المادة تزداد إيصاليتها الحرارية ، والعكس صحيح ، والسبب في ذلك يعود إلى نقصان جزء الحجم الذي يملؤه الهواء وازدياد جزء الهيكل الذي تملؤه المادة نفسها التي تتميز بإيصالية أكبر .

وعند تعرض المادة لرطوبة (إيصالية الماء $0,55\ W/m.c$) ويحل الماء مع الهواء ، فإن إيصالية المادة تزداد حوالي 25 مرة ، وكذلك الأمر ، عندما يتحول الماء داخل المادة إلى جليد (إيصالية الجليد $2,3\ W/m.c$) ، فإن إيصالية المادة تزداد حوالي أربعة مرات ، والشكل (3–8) يوضح العلاقة بين الإيصالية الحرارية λ ، والكثافة ρ ، والرطوبة φ ، ودرجة الحرارة t .



الشكل (3–8) العلاقة بين λ و ρ و φ و t

لذلك ، يجب أن تترافق مواد العزل الحراري دائماً بمواد عازلة للرطوبة تتوضع من الجهة الساخنة ، وهي طلائية أو على شكل رقائق . والجدول (3–10) يبين أهم أنواع المواد العازلة للرطوبة ونفاذيتها .

الجدول (3–10) المواد العازلة للرطوبة وعامل نفاذيتها

المادة	عامل نفاذية الرطوبة $(g/m.\ h.\ P_a)\ \mu$	المادة	عامل نفاذية الرطوبة $(g_r/m.\ h.\ P_a)\ \mu$
رقائق الألمنيوم	$0{,}054 \cdot 10^{7}$	دهان أسفلتي	$19{,}205 \cdot 10^{7}$
بيتومين (أسفلت خام)	$8{,}621 \cdot 10^{7}$	بيرغامين	$12 \cdot 10^{7}$
بورولين	$10{,}802 \cdot 10^{7}$	رقائق بلاستيكية (بولي إيتلين)	$0{,}018 \cdot 10^{7}$
هيدرو إيزول	$13{,}728 \cdot 10^{7}$	إيزول وبريزول	$12{,}378 \cdot 10^{7}$

والجدول (3–11) يعطي المقاومة النوعية لبخار الماء (الرطوبة) لبعض مواد البناء

المادة	الكثافة	المقاومة الحرارية النوعية	المقاومة النوعية لبخار الماء	مقاومة البخار (الرطوبة)
	kg/m^3	$m.c/W$	$[Ns/(kg.m.10^9)]$	$(Ns/kg).10^9$
القرميد	1700	1,19	35	
بيتون كثيف	2100	0,71	200	
بيتون خفيف	600	4,55	45	
جبس كثيف	1300	2	50	
صوف زجاجي	25	0,16	100	
ستيروبور ممدد	25	0,16	100	
بولي إيتلين 0,05 mm	-	-	-	125
دهان لميّع	-	-	-	8
رقائق الألمنيوم	-	-	-	> 4000

من وجهة نظر صحية ، يجب أن يؤمن العزل الحراري للجدران والأسقف الخارجية درجة حرارة سطحية داخلية للجدار أو السقف مناسبة لصحة الإنسان وراحته ، بحيث لا يتعرض القاطنون داخل المكان المكيف إلى إشعاع بارد أو ساخن ، بالإضافة إلى أنه يجب أن لا يتكاثف بخار الماء الموجود في الهواء الداخلي على السطح الداخلي للجدران أو الأسقف الخارجية ، مما يضر بطبقة الدهان والليسة الداخلية ويزيد من نسبة الرطوبة داخل

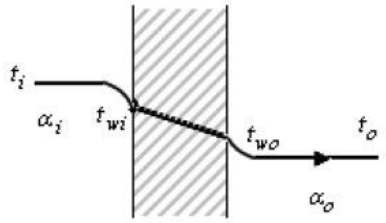
المكان المدفأ ، لذلك يجب أن تكون درجة حرارة السطح الداخلي للحواجز الخارجية أكبر من نقطة ندى الهواء الداخلي الملامس لها . ويعبر عن ذلك رياضياً بالعلاقات الآتية :

$$\alpha_i (t_i - t_{wi}) = K (t_i - t_o) \Rightarrow \quad (3.15)$$

$$t_i - t_{wi} = \frac{K}{\alpha_i} (t_i - t_o) \quad (3.16)$$

$$t_{wi} - t_i - \frac{K}{\alpha_i} (t_i - t_o) \geq t_s \quad (3.17)$$

حيث t_s : درجة حرارة نقطة ندى الهواء الداخلي ، وتحدد من المخطط البسايكومتري ملحق [2] . تسمى العلاقة (3.17) بـ (شرط عدم التكاثف) ، وتتحقق باستخدام مواد عزل حراري مناسبة .



الشكل (3-9)

العلاقة $t_i - t_{wi} = \Delta t_n$ تُحدَد من الجدول (3-12) حسب الوظيفة التكنولوجية للمبنى .

الجدول (3-12) الوظيفة التكنولوجية للمبنى

وظيفة المبنى	$\Delta t_n = t_i - t_{wi} \leq$	
	جدران خارجية	أسقف
سكني أو عام (مشافي – رياض أطفال)	6	4
مستوصفات ومدارس	6	4,5
عام (باستثناء المباني السابقة) ، ومباني مساعدة وإنتاجية	7	5,5
مباني إنتاجية ذات إصدار حراري مرتفع ورطوبة نسبية أكثر من 45%	12	12
مباني إنتاجية مدفأة ذات رطوبة نسبية أقل من 50%	10	8
مباني إنتاجية مدفأة ذات رطوبة نسبية من 50 – 60 %	8	7

بمعرفة Δt_n من الجدول ، و t_i , t_o , α_i من الجداول المختصة نحدد K للجدار والذي منه نحسب سماكة مادة العزل ونوعيتها .

من الخبرة العملية ، ومن وجهة نظر اقتصادية ، ينصح بأن تكون قيمة K للجدران والأسقف والأرضيات تتراوح بين $0,4 - 0,6\ W/m^2c$ (بعد العزل) . ويمكن من قيمة وسطية لـ $K = 0,5\ W/m^2c$ أن نحدد سماكة ونوعية العازل اللازم لتحقيق الشروط الصحية والفنية والاقتصادية المناسبة .

2-5-3 أنواع مواد العزل الحراري :

مع ازدياد طلب الحكومات والمؤسسات والأفراد على ترشيد استهلاك الطاقة ، تزداد عدد مواد العزل المتوفرة تجارياً بشكل ملحوظ ، وسنكتفي هنا بدراسة أكثر الأنواع استخداماً في مجال العزل الحراري للأبنية مثل :

آ- الصوف الزجاجي :

هي مادة غير عضوية ، يمتاز بثباته كيميائياً ، ويتوفر بشكل ألواح أو لفائف ، ويمكن قصه ولفه بسهولة ، لذا يستخدم بكثرة في عزل أنابيب شبكات التدفئة المكشوفة وأسطوانات الماء الساخن، وهو لا يحترق بل قابل للاشتعال ولا يطلق غازات سامة أو ضارة أثناء تعرضه لدرجات حرارة مرتفعة . يتحمل درجات حرارة ما بين $150-450C^o$، عامل توصيله الحراري $0,04\ W/m.c$ ، كثافته $20-600\ kg/m^3$.

من مساوئه : قابليته للانضغاط والتهدل ، وصعوبة حمايته من تسرب الرطوبة ، لذا لا يستخدم في عزل شبكات التدفئة المطمورة ، وفي عزل الأرضيات والأسقف إلا في شروط خاصة .

ب- الصوف الصخري :

يشبه الصوف الزجاجي إلا أنه لا يقاوم الانسحاق ، كثافته $100-150\ kg/m^3$ ، وعامل توصيله الحراري $0,04\ W/m.c$ ، له مساوئ الصوف الزجاجي نفسها ، ويجب عدم لمسه أو استنشاقه ، والتعامل معه بحذر .

ج- السيتروبور (P.V.C الممدد) :

هي مادة بلاستيكية حرارية تنتج عن بلمرة الستيرين بحضور وسيط كيميائي . يمتاز ببنية رغوية مغلقة وبمقاومة ميكانيكية مقبولة ، يتم تصنيعه على شكل كتل يمكن قصها إلى ألواح بوساطة أسلاك مسخنة كهربائياً ، أو بوساطة أدوات حادة ، وهو لا يتشرب الرطوبة إلا بشكل طفيف (لأنه يمتاز ببنية كروية مغلقة) ، ويمكن حمايته من العوامل الخارجية بطلائه أو تلبيسه برقائق الألمنيوم أو البولي إيتلين .

يستخدم في عزل الأسقف والأرضيات والجدران على حد سواء قبل البناء أو بعده ، إلا أنه يفضل استخدام النوع الكثيف منه في الأرضيات حسب وظيفة المكان (سكني أو إنتاجي) .

من مساوئ السيتروبور : سهولة انحلاله في العديد من المواد كالبنزين ، وسهولة ذوبانه عند تعرضه لإسفلت ساخن وقابليته للاحتراق والقضم من قبل الفئران والجرذان ، لا يتحمل درجات حرارة عالية ($t_{\max} < 85C^o$) ، كثافته $15-25\ kg/m^3$ ، وعامل توصيله الحراري $0,039-0,044\ W/m.c$.

د- البولي أوريتان الرغوي :

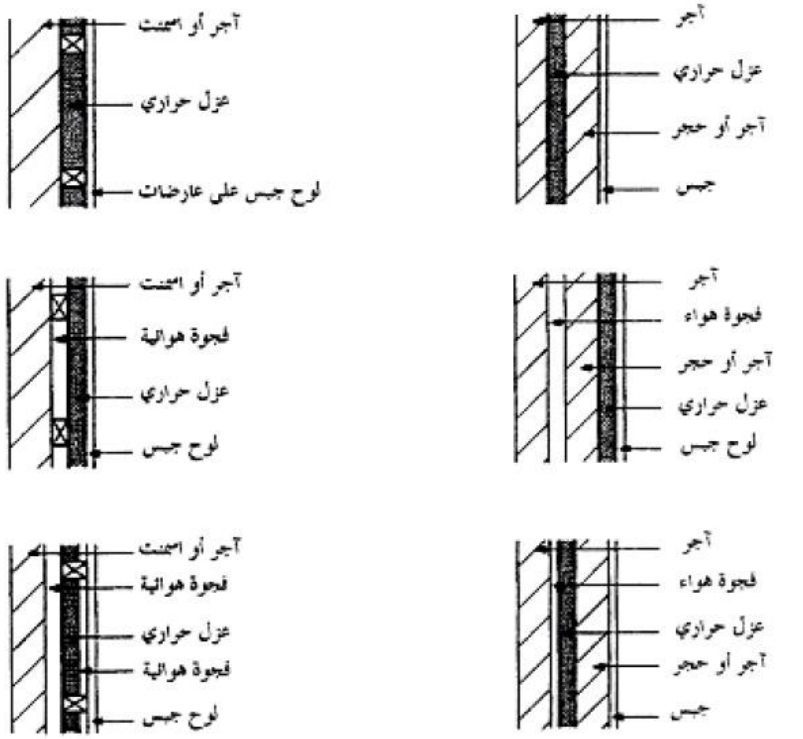
مادة بلاستيكية ناتجة عن تفاعل الإيزوسيانات مع الكحول ، يمتاز بسهولة حقنه ومقاومته الميكانيكية الجيدة وعدم قابليته للاحتراق (حسب أسس التصنيف العالمية) ، بالرغم من أنه يحترق عند تعرضه للهب ما ، لكنه ينطفئ عند إزالة اللهب . يتوفر بشكل ألواح أو محقوناً في القالب المرغوب ، يمكن حمايته من العوامل الخارجية بالطلاء أو التلبيس شأنه شأن السيتروبور . يتحمل درجات حرارة حتى $110C^o$ ، ولحمايته من درجات الحرارة

العاليـــة يســـتخدم معـــه طبقـــة مـــن الصـــوف الزجـــاجي ، كثافتـــه $35\,kg/m^3$ ، وعامـــل توصـــيله $0{,}029-0{,}03\,W/m.c$.

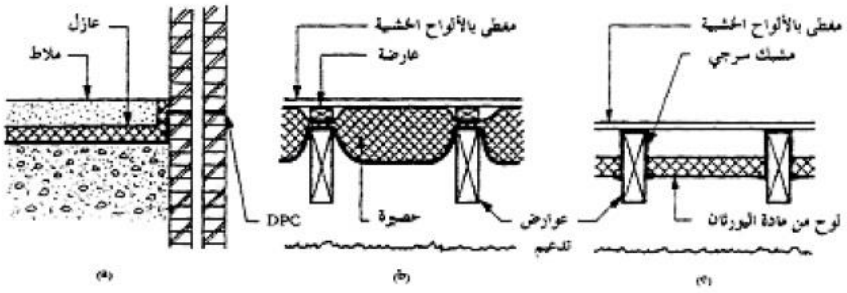
من مساوئه : يصنع من مركبين إحداهما سام ، وصعوبة حمايته من تسرب الرطوبة إلى فراغاته .

باستخدام مواد العزل الحراري في الأبنية يمكن تخفيض الضياعات الحرارية عن طريق النفوذ الحراري بحدود 50% ، وبالتالي توفير استهلاك الطاقة والحد من تلوث البيئة وإكساب عدم إحساس القاطنين بالإشعاعات الباردة من حواجز البناء .

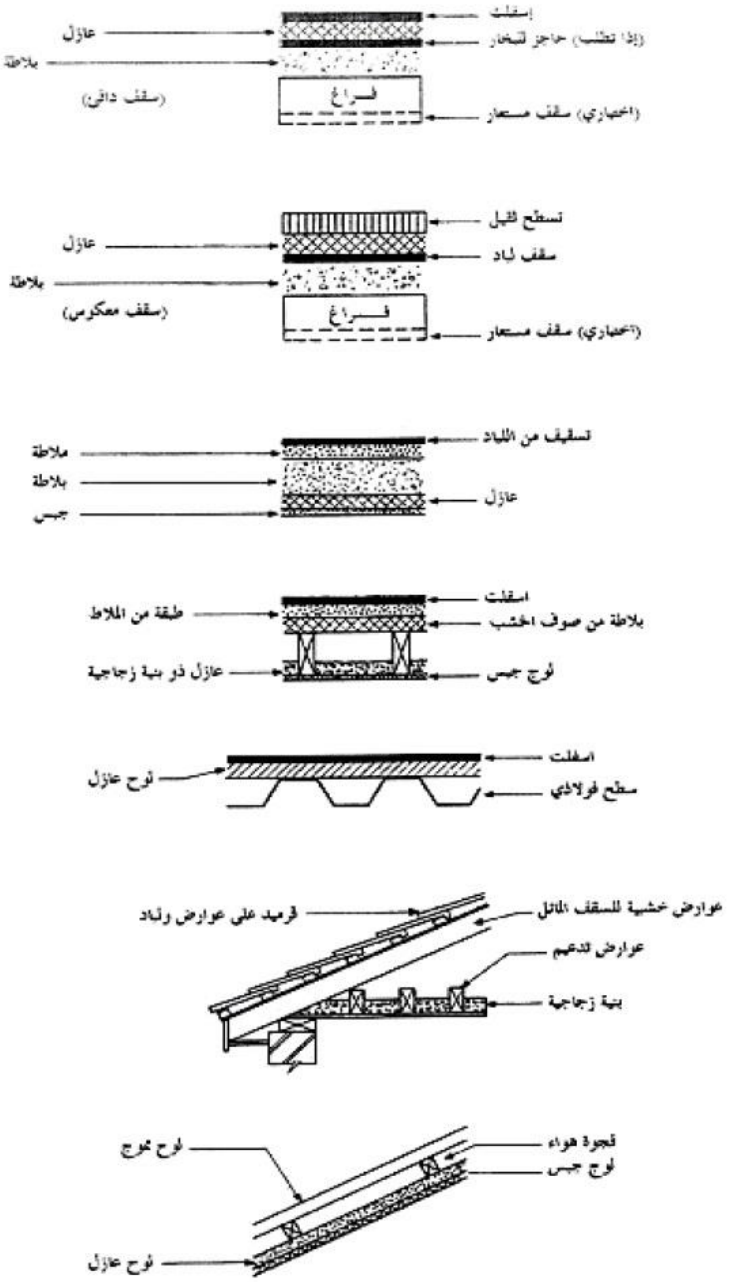
والأشكال (3–10) و(3–11) و(3–12) ، تبين على التوالي طرق تطبيق العزل على الجدران والأسقف والأرضيات .



الشكل (3–10) طرق تطبيق العزل إلى الجدران



الشكل (3–11) طرق تطبيق العازلية على الأرضيات



الشكل (3-12) طرق تطبيق العزل إلى الأسقف

أسس ومبادئ التصميم الحراري

1 – مقدمة

يلعب التصميم الحراري الجيد للأبنية دورًا رئيسًا في تخفيض الأحمال الحرارية لأنظمة التدفئة والتكييف، وبالتالي تخفيض استهلاك الطاقة، وتخفيض التكاليف التأسيسية لتلك الأنظمة وما تتطلبه من تكاليف تركيب وصيانة دورية.

الغاية والهدف من التصميم الحراري:

يجب أن يهدف التصميم الحراري الأمثل للمباني إلى مايلي:

- توفير الطاقة المستخدمة لأغراض التدفئة والتكييف.
- تخفيض الضياع الحراري.
- تخفيض الكلفة التأسيسية والصيانة لأجهزة وتمديدات أنظمة التدفئة وتكييف الهواء.
- تأمين شروط الارتياح الحراري والأجواء الصحية لشاغلي البناء طيلة فصول السنة.
- تجنب حدوث التكاثف أو التقليل منه على السطوح الداخلية للبناء في المناطق الباردة عند استخدام التدفئة وتجنب الأضرار الناجمة عن ذلك.
- تخفيض كلفة الصيانة الدورية الناتجة عن الإجهادات الحرارية للمباني.
- إطالة العمر الاستثماري للبناء.

1-3- العوامل المؤثرة في التصميم الحراري:

1-3-1- الظروف الجوية:

قبل البدء بعمليات التصميم يجب تحديد ما يلي:

المتطلبات التصميمية اللازم توفرها داخل البناء وتتضمن ما يلي:

- درجات الحرارة الجافة التصميمية.
- الرطوبة النسبية التصميمية.
- معدل التهوية التصميمي.

المتطلبات التصميمية الخارجية السائدة صيفًا وشتاءًا لكل منطقة مناخية.

- درجات الحرارة الجافة التصميمية.
- الرطوبة النسبية التصميمية.
- سرعة الرياح التصميمية واتجاهها.
- كثافة الأشعة الشمسية وزاوية سقوطها.

1-3-2- الاتجاه الجغرافي وشكل البناء وموقعه:

يؤثر الاتجاه الجغرافي للبناء وشكله وموقعه على مقدار الفقد والكسب الحراري عبر عناصره الخارجية.

أ) الاتجاه الجغرافي:

كلما ازدادت سرعة الرياح انخفضت المقاومة الحرارية السطحية الخارجية لعناصر البناء، (وبشكل خاص سطوح العناصر المواجهة لها)، إضافة لازدياد إمكانية تسرب الهواء إلى داخله من خلال فواصل الأبواب والنوافذ. كما تعتبر أشعة الشمس المباشرة مصدرا حراريا إضافيا يمكن الاستفادة منه في فصل الشتاء.

ب) شكل البناء وموقعه:

اختلاف موقع البناء :

يتعرض البناء الذي يقع على قمة مرتفعة للرياح وأشعة الشمس والأمطار أكثر مما لو كان واقعًا في واد منخفض ، كما يتعرض البناء الذي يقع على السفح المواجه للرياح السائدة إلى تأثيرها أكثر من وقوعه على السفح المعاكس.

موقع البناء من الأبنية المجاورة:

إن وجود البناء ضمن مجمع سكني كثيف يخفف من تأثير شدة الرياح والأمطار وأشعة الشمس عليه.

ارتفاع البناء :

إن زيادة ارتفاع البناء عن باقي الأبنية المجاورة والمحيطة به يجعله عرضه لمواجهة الرياح والأمطار المباشرة أكثر مما لو كان متساويا في الارتفاع معها.

1-4-3- معامل الانتقال الحراري الكلي للعناصر الإنشائية : (K-Value)أو(U-Value)

تعتمد قيمة معامل الانتقال الحراري الكلي لعناصر البناء على عدة عوامل ، منها خواص المادة أو المواد التي تتكون منها العناصر ، وسماكاتها ودرجة تعرض سطوحها الخارجية للعوامل الجوية، وبازدياد قيمة معامل الانتقال الحراري الكلي لعناصر البناء تزداد كمية الحرارة المفقودة شتاء والمكتسبة صيفا، وبالتالي زيادة في استهلاك الطاقة اللازمة لتدفئة وتكييف البناء. وعليه، يجب تصميم عناصر البناء بحيث تكون قيمة معامل الانتقال الحراري الكلي لها ضمن الحدود المسموح بها في الجدول (1-1):

العنصر الإنشائي	معامل انتقال الحرارة الأعظمي $K[w/m^2.K]$	
السقف الأخير	K_{roof}	0.5
الجدران الخارجية بدون فتحات	K_{ow}	0.8
الفتحات الزجاجية عندما تكون $A_{win} \leq 0.2A_{facade}$	K_{win}	5.2
الفتحات الزجاجية عندما تكون $A_{win} > 0.2A_{facade}$	K_{win}	3.5
الواجهة الخارجية شاملة جميع الفتحات	K_{facade}	1.5
الأرضيات الملاصقة للتربة	K_G	1
الأرضيات ما بين الطوابق	K_f	1
الأرضيات المكشوفة	K_f	0.5
حيث A_{facade} : مساحة الواجهة ، A_{win} : مساحة النوافذ و الأبواب		

الجدول (1-1) القيم العظمى المسموح بها لمعامل انتقال الحرارة الكلي لعناصر البناء

1-5- الارتياح الحراري (Thermal Comfort)

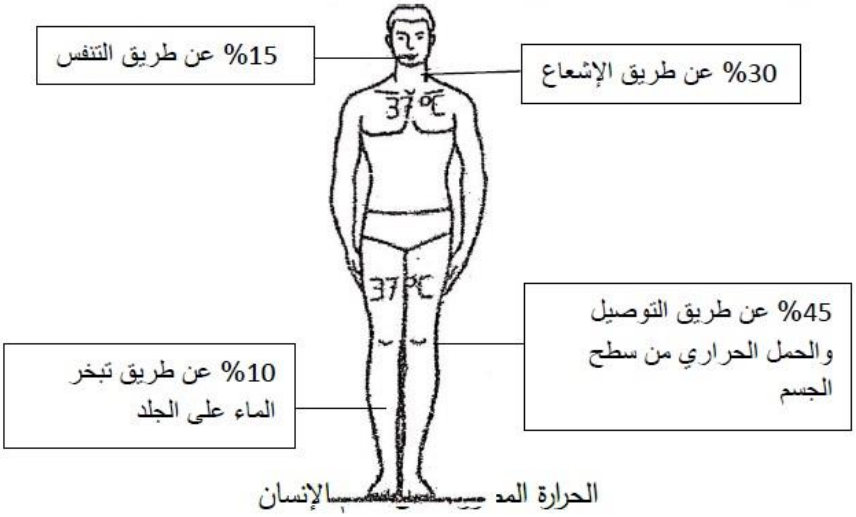
يعتبر الارتياح الحراري وتأمين الجو الصحي المريح من أهم الأهداف التي يسعى إليها التصميم الحراري للبناء. ويعرف الارتياح الحراري بأنه **(الحالة الذهنية التي يشعر فيها الإنسان بالرضا والنشاط في البيئة الحرارية المحيطة به)** و يتحدد مستوى الارتياح بمجموعة من العوامل المؤثرة على الحالة الفيزيولوجية للإنسان في الحيز الذي يعيش فيه، حيث يصبح الشخص في حالة ارتياح حراري إذا كانت معدلات الطاقة التي ينتجها

الجسم بما يتناوله من غذاء أو ما يسمى بالتفاعل الحيوي تعادل تلك التي يفقدها إلى الجو المحيط ، ويعبر عن هذه الحالة أيضًا بالاتزان الحراري

أن جسم الإنسان من أدق الأجهزة التي تتحكم في درجة الحرارة، فهو يحافظ على درجة حرارة ثابتة تقريباً وتبلغ حوالي 37°C. ويؤمن جسم الإنسان الطاقة الحرارية اللازمة له من حرق الطعام الذي يتناوله، يقوم جسم الإنسان بصرف جزء من الطاقة المتولدة خلال قيام الإنسان بنشاطاته (عمل ، تفكير ،....) ويتوجب على الجسم طرح ما تبقى من هذه الطاقة إلى خارج الجسم.

يحافظ الجسم على درجة الحرارة ثابتة من خلال طرح الكميات الفائضة من الحرارة للوسط المحيط وذلك بعدة طرق مختلفة هي:

- الإشعاع الحراري من الجسم إلى المحيط الأبرد.
- التوصيل والحمل الحراري.
- التعرق وطرح الماء عبر الجلد حيث يحدث تبخر للعرق المطروح وبالتالي سحب الحرارة من الجسم.
- التنفس(هواء الزفير الدافئ والرطب).



الحرارة المد [illegible] الإنسان

فعندما ترتفع درجة حرارة الجسم بمقدار بسيط عن معدل حرارة الجسم العادي، يقوم نظام التحكم بتمديد الأوعية الدموية الدقيقة التي تقع تحت الجلد مباشرة حيث يقوم الجسم عن طريق الحمل بنقل كمية كبيرة من الحرارة من داخل الجسم إلى السطح، عندئذٍ ترتفع درجة حرارة الجلد وبالتالي يزداد معدل انتقال الحرارة إلى الخارج عن طريق التوصيل، الحمل والإشعاع. وإذا لم يتم التخلص من هذه الحرارة بسرعة، يبدأ عندئذٍ الجسم بالتعرق للتخلص من كمية كبيرة من الحرارة الكامنة في الجلد عن طريق تبخر العرق ومن ثم يبرد الجسم أكثر وكذلك درجة حرارة الدم تحلت الجلد. أما عندما تنخفض درجة حرارة جسم الإنسان عن المعدل الطبيعي، تبدأ الأوعية الدموية بالإنكماش والتالي يقل معدل سريان الدم الواصل إلى الجلد الخارجي ويحافظ الجسم على الحرارة داخله. وعليه يكون وظيفة أي نظام تكييف للهواء هو مساعدة الجسم في التخلص من كمية الحرارة الزائدة.

يمكن القول بأن الحرارة التي يتنجها الجسم من تناوله للأطعمة تعادل تلك الحرارة التي يفقدها الجسم إلى الخارج.

معادلة التوازن الحراري التي تنظم عملية تبادل الطاقة بين جسم الإنسان والمحيط الخارجي تسمى معادلة فانغر Fanger ولها الصيغة:

$$Q_m - W = [Q_E \mp Q_R \mp Q_C] \mp Q_S$$

Q_m: الحرارة المتولدة بعملية الأيض الغذائي تنتج من حرق الطعام.

W: الحرارة المفيدة المصروفة بسبب نشاطات الإنسان المختلفة.

Qm−W: الحرارة الفائضة الواجب طرحها للوسط المحيط.

Q_E: الحرارة التي يطرحها الجسم بشكل بخار .

Q_R: الحرارة التي يطرحها الجسم بالإشعاع.

Q_C: الحرارة التي يطرحها الجسم بالتوصيل الحراري.

Q_S: الحرارة التي يخزنها الجسم.

تؤثر الطاقة التي يخزنها جسم الإنسان Q_S على شعور الإنسان بالراحة الحرارية، ويجب أن تكون قيمتها $Q_S=0$ وبالتالي يجب تبديد الطاقة المتبقية داخل جسم الإنسان إلى الوسط المحيط.

العوامل الأساسية التي تؤثر على راحة الإنسان

هناك ستة عناصر تؤثر على راحة الإنسان. منها أربع عناصر بيئية وهي:

- درجة الحرارة الجافة.
- متوسط درجة الحرارة الإشعاعية.
- نسبة الرطوبة.
- سرعة الهواء.

وهناك عنصران شخصيان هما:

- العزل نتيجة الملابس
- مستوى نشاط الشخص.

ويمكن تصنيف الحرارة التي يفقدها جسم الإنسان إلى:

- حرارة كامنة (Latent heat)
- وحرارة محسوسة (Sensible heat).

تتعلق معدلات الطاقة الحرارية الناتجة عن التفاعل الحيوي لجسم الإنسان والتي يقوم بتبديدها في الجو المحيط بنوع النشاط الذي يمارسه كما هو مبين في الجدول التالي.

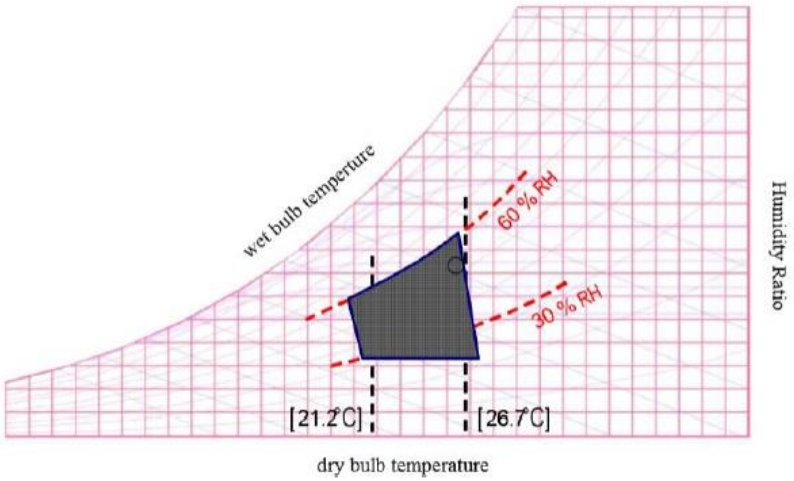
نوع النشاط	كمية الطاقة المتحررة [W/person]
النوم	70

الجلوس مع حركة خفيفة	130–160
الوقوف مع عمل خفيف	160–190
الجلوس مع حركة كثيفة	190–230
الوقوف مع عمل معتدل وحركة خفيفة	230–290
المشي مع حمل أو رفع أشياء خفيفة	290–410
عمل كثيف متقطع	440–580
عمل شاق محتمل	580–700
عمل شاق بأقصى حد لمدة 30 دقيقة	1100
القيم أعلاه هي قيم متوسطة من عدة مصادر وهي تشمل مجموع الحرارة المحسوسة و الكامنة	

الجدول (2–1) كمية الطاقة المكتسبة الصادرة عن جسم الانسان حسب نوع النشاط المدروس

تتوقف الحرارة الكامنة على رطوبة الهواء بينما تتوقف درجة الحرارة المحسوسة على درجة حرارة الهواء الجافة. فعند ارتفاع رطوبة الهواء، يقل معدل فقد الحرارة الكامنة، بينما يزداد معدل فقط الحرارة المحسوسة، عن طريق اتساع الشعيرات الدموية في الجلد، مما يؤدي إلى زيادة درجة حرارة الجلد. وبالتالي زيادة معدل الحرارة المفقودة من الجسم. أما عند ارتفاع درجة حرارة الهواء يقل معدل فقد الحرارة المحسوسة، ويزداد معدل فقد الحرارة الكامنة عن طريق زيادة نشاط الغدد التعرقية بالجلد، مما يؤدي لزيادة التعرق وزيادة معدل فقد الحرارة الكامنة.

زيادة الرطوبة شتاءً يجعل الأنسان يشعر بالبرد، بينما زيادتها صيفاً تجعله يشعر بارتفاع في درجة الحرارة. و يتراوح مدى الراحة الحرارية لجسم الإنسان بين درجات حرارة (22–27°C)، مع رطوبة نسبية تتراوح بين (40–60% كما يبين الشكل التالي:



منطقة الراحة للإنسان

الأحمال الحرارية نوعان: أحمال التدفئة وأحمال التكييف

5-3 حساب الحمل الحراري :

5-3-1 حمل التدفئة الشتوي :

يتم تحديده من خلال الموازنة الحرارية للمبنى بين الضياعات الحرارية والمكاسب الحرارية ، ويحدد من العلاقة الآتية :

$$\Sigma Q = Q_{tot} - (Q_{el} + Q_x) \qquad (5.1)$$

حيث ΣQ : حمل التدفئة الشتوي ؛ $[kW]$.

Q_{tot} : الضياعات الحرارية الكلية للمبنى ؛ $[kW]$. وتحدد من العلاقة :

$$Q_{td} = Q_0 + Q_z + Q_u \qquad (5.2)$$

Q_0 : الضياعات الحرارية عبر الجدران والأسقف والأرضيات والنوافذ والأبواب بالنفوذ الحراري؛ $[kW]$. ويتم تحديدها من العلاقة :

$$Q_0 = K.A.(t_i - t_o) \qquad kW \qquad (5.3)$$

K : عامل النفوذ الحراري للحاجز المدروس ؛ $[W/m^2.C^o]$.

A : مساحة الحاجز المدروس ؛ $[m^2]$.

t_i : درجة الحرارة التصميمية الداخلية للحيز المدروس ؛ $[C^o]$.

t_o : درجة الحرارة التصميمية الخارجية للحيز المدروس ؛ $[C^o]$.

(درجة الحرارة التصميمية للوسط الخارجي) .

Q_2 : إضافات التدفئة وتشمل :

آ- إضافات توقف التدفئة والسطوح الخارجية :

وتحدد بوساطة العامل Z_D حسب قيمة عامل انتقال الحرارة الوسطي الإجمالي K_D ، ونوع التدفئة المستخدمة (متقطعة – نصف مستمرة – مستمرة) .

تحدد قيمة K_D من العلاقة الآتية :

$$K_D = \frac{Q_0}{F_{tot}(t_i - t_o)} \qquad [W/m^2.C^o] \qquad (5.4)$$

F_{tot} : السطح الإجمالي لحواجز المكان المدروس جميعها ؛ $[m^2]$.

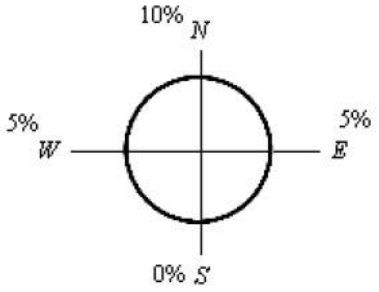
تحدد قيمة Z_D من الجدول (5-1) كنسبة مئوية من ضياعات النفوذ الحراري .

جدول (5–1) قيمة عامل توقف التدفئة والسطوح الخارجية

نوع التدفئة	قيمة Z_D $[W/m^2.C^o]$			
	0,1 – 0,29	0,2 – 0,69	0,7 – 1,49	أكبر من 1,5
تدفئة مستمرة h/ 24 – 16	4	6	6	6
نصف تدفئة مستمرة h/ 16 – 8	20	15	15	15
تدفئة متقطعة	30	25	20	15

ب– إضافات الجهة Z_S :

تأخذ بالاعتبار اتجاه المبنى الذي يحدد من اتجاه واجهة المبنى ، وإذا كان للمبنى واجهتان تكون جهة المبنى المنصف ، وإذا كان أكثر من واجهتين يصمم على الجهة الأسوأ ، وذلك من الرسم الآتي المبين على الشكل (5–1) :



الشكل (5–1)

إضافات الجهة

ج– إضافات الارتفاع Z_h :

تأخذ بالاعتبار المباني التي يزيد ارتفاعها عن $4\,m$ ، وتحدد من الجدول (5–2) كنسبة من ضياعات النفوذ الحراري .

جدول (5–2) إضافات الارتفاع Z_h%

h $[m]$	Z_h %
$h < 5$	0
$5 \le h < 10$	5
$10 \le h < 15$	10
$h < 15$	15

Q_u : ضياعات التسرب والتهوية : تحدث بسبب تسخين الهواء الخارجي المتسرب بسبب فرق الضغط والكثافة ، وتحدد حسب الحالة :

1– حالة الحيز المدروس لا يحتوي على عدد أشخاص كبير (مكاتب – غرف عادية ...) ، تحدد من العلاقة الآتية :

$$Q_u = 0{,}35.n.v.\Delta t \qquad W \qquad (5.5)$$

n : عدد مرات تغير الهواء ، ويحدد من الجدول (5–3) حسب الوظيفة التكنولوجية للمكان وعدد السطوح الخارجية .

v : حجم المكان المدروس ؛ $[m^3]$.

جدول (5-3) عدد مرات تغير الهواء (n)

وصف الغرف	عدد مرات التغير بالساعة [n]
غرفة من دون نوافذ أو أبواب خارجية	0,5
غرفة ذات نوافذ أو أبواب خارجية على جهة واحدة	1,0
غرفة ذات نوافذ أو أبواب خارجية على جهتين	1,5
غرفة ذات نوافذ أو أبواب خارجية على ثلاثة أو أربعة جهات	2,0
غرفة يتراوح حجمها بين ($100 - 500\ m^3$) بصرف النظر عن عدد الجهات	0,75
غرفة يتراوح حجمها بين ($500 - 1000\ m^3$) بصرف النظر عن عدد الجهات	0,5
غرفة يتراوح حجمها أكبر من ($1000\ m^3$)	0,25
مداخل الأبنية	3
الأبنية العامة	1 – 3
المطاعم والندوات	2
المدارس : غرف الدرس وغرف الأساتذة	2
غرف كبيرة	0,5 – 1
الممرات	2
مصانع نظيفة	1 – 2
المكاتب	1 – 2
الحمامات – المغاسل	2
غرف النوم	1
غرف الجلوس	2
القاعات	3
كراج عام	3 – 6
متاحف	1
مصارف	2 – 5
دورات مياه من دون نوافذ خارجية	5
المحلات التجارية	1 – 3
قاعات محاضرات واجتماعات	0,5
أماكن ذات حركة	1,5 – 2
مخابر	1 – 2
مطابخ	2,5
مستودع بضائع	1

2- حالة الحيز المدروس يحتوي على عدد أشخاص كبير (قاعة درسية – محاضرات – اجتماعات – سينما – مسرح – جامع – كنيسة ...) ، تحدد من العلاقة الآتية :

$$Q_u = 0{,}35.v.(t_i - t_o) \qquad W \qquad (5.6)$$

v : حجم الهواء اللازم للتهوية ؛ $[m^3/h]$. ويعطى بالعلاقة الآتية :

$$v = n\ .\ m \qquad (5.7)$$

n : عدد الأشخاص .

m : كمية الهواء اللازم للشخص ؛ [l/s] . ويحدد من الجدول (5–4) حسب وظيفة المكان أو حسب مساحة الأرضية لكل شخص .

جدول (5–4) عدد مرات تغير الهواء (n)

خواص المكان			معدل التهوية $L/s/m^3$	عدد مرات تغيير الهواء في الساعة n
حالة التواجد	مساحة الأرضية لكل شخص m^2	شرط التدخين		
غرف عمليات ومخابر دموي وجرثومي	8	ممنوع	1	3
خاوي		ممنوع	1	1
بنك – معمل		أحياناً	1,4	1,5 – 5
مطعم – مكتب		دائماً	1,8	2 – 4
مكتظ	4	ممنوع	2,8	3
غرف عامة		أحياناً	3,7	4
فنادق		دائماً	4,6	5
مزدحم	2	ممنوع	6,7	7
بار – صالة اجتماع		أحياناً	8,3	9
محلات تجارية		دائماً	10	11
سينما أو مسرح				5
مطابخ			9,18	10 – 20
مدارس				3
دورات مياه وحمامات				4 – 5
منازل				1 – 2
مصانع - محلات عامة		ممنوع	0,5 – 1	2 – 4

Q_{el} : الحمل الحراري الناجم عن التجهيزات الكهربائية (إنارة ومعدات) .

$$Q_{el} = Q_{el_1} + Q_{el_2} \qquad W \qquad (5.8)$$

Q_{el_1} : الحمل الحراري الناجم عن الإنارة (كما هو الحال في الاستوديوهات والمسارح والمطاعم وقاعات المحاضرات والكنائس والجوامع ...) . ويحدد من العلاقة :

$$Q_{el_1} = \Sigma N + 1{,}05\, \Sigma f \qquad W \qquad (5.9)$$

N : استطاعة المصباح المتوهج ؛ [W] .

f : استطاعة مصباح الفلوريسانت ؛ [W] .

1,05 : عامل يأخذ بالاعتبار حمل الترنسات .

ويمكن أن يحدد Q_{el_1} من الجدول (5–5) .

جدول (5–5) شدة الإضاءة W/m^2

نوع المبنى	شدة الإضاءة W/m^2
مكاتب	60
مصانع	45
مدارس وجامعات	40
شقّة – مدرج – مسرح – فنادق	20
مطاعم	17
مشافي – مكتبات – متاحف	15

Q_{el_2} : الحمل الحراري الناجم عن التجهيزات الكهربائية ، ويحدد من العلاقة :

$$Q_{el_2} = E\,(1-\eta) \qquad W \qquad (5.10)$$

E : استطاعة الجهاز ؛ $[W]$.

η : مردود الجهاز ، ويحدد من الجدول (5–6) .

جدول (5–6) مردود الأجهزة الكهربائية حسب استطاعتها

استطاعة الجهاز $[E]$	المردود $[\eta]$
$E < 200\ W$	0,60
$350 – 375\ W$	0,7
$1 – 4\ kW$	0,8
$5,5 – 15\ kW$	0,85
$E > 15\ kW$	0,88

وفي حال وجود معدات طبخ أو تجهيزات كهربائية معروفة يحدد حملها الحراري مباشرة من الجدولين (5–7) و (5–8) .

جدول (5–7) كمية الحرارة المكتسبة من معدات الطبخ المتواجدة في الأماكن المكيفة (W)

نوع الجهاز	مجهز بمدخنة			من دون مدخنة
	محسوسة	كامنة	كلية	المحسوسة
موقد قهوة	490	210	700	140
موقد عادي كبير	1460	625	2085	415
مقلاة دسم عميقة	2080	2080	4160	830
فرن الطلبات السريعة	890	500	1390	280
محمصة (12 شريحة في الدقيقة)	750	670	1420	440
طاولة بخار	3000	1500	4500	750

جدول (5–8) كمية الحرارة المكتسبة من تجهيزات كهربائية مختلفة (W)

نوع الجهاز	معطيات متنوعة	محسوسة	كامنة	كلية
مجفف شعر	نموذج عادي	644	110	640
مجفف شعر	نموذج رأسي	520	92	520
معقم	جهاز تعقيم	180	330	180
آلة تصوير كبيرة	أثناء العمل	3330	0	3330
آلة – ماكينة	جاهزة للعمل	1670	0	1670
موقد مخبري	–	470	120	470

Q_x : حمل الأشخاص ويتعلق بعدد الأشخاص المتواجدين في المكان المدروس ، وبالحمل الحراري المحسوس والكامن الذي يطرح من قبلهم ، ويحدد من العلاقة :

$$Q_x = n.q \qquad (5.11)$$

حيث :

n : عدد الأشخاص .

q : الحمل الحراري الكلي المطروح من الشخص الواحد ، يحدد من الجدول (5–9) .

جدول (5–9) كمية الحرارة التي يطرحها الإنسان حسب حالته (W)

حالة الإنسان	الاستخدام	حرارة محسوسة	حرارة كامنة	المجموع
جالس ومستريح	مسرح	72	31	103
جالس ويعمل عملاً خفيفاً	مكتب– شقة– فندق	72	45	117
يزاول عملاً متوسطاً	مكتب– شقة– فندق	73	59	132
واقف ويزاول عملاً خفيفاً	محلات تجارية	73	59	132
جالس – يسير	بنك – صيدلية	73	73	146
يزاول عملاً بسيطاً – يسير ببطء	مطعم	81	81	162
عمل تجميع بسيط	مصنع	81	139	220
رقص معتدل	صالة رقص	89	160	249
عامل متحرك	مصنع	110	183	293
عامل يزاول عملاً ثقيلاً	مصنع	170	255	425
شخص يزاول رياضة	ملعب	170	255	425

ملاحظة :

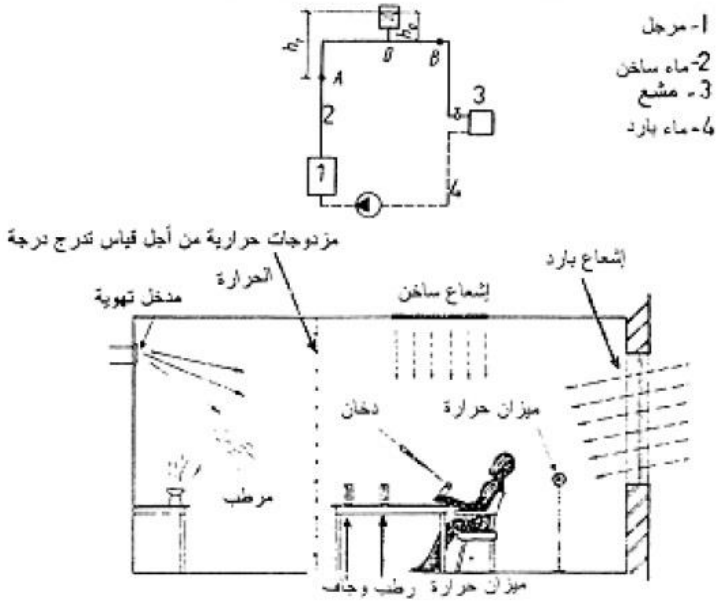
يهمل حمل الأشخاص والتجهيزات الكهربائية في المباني السكنية والأماكن الصغيرة ، ويعتبر عامل أمان لحمل التدفئة .

التدفئة المركزية بالماء الساخن

يقصد بالتدفئة المركزية بالماء الساخن ، تهيئة الوسط الداخلي عن طريق التدفئة المركزية بالماء الساخن بما يناسب صحة الإنسان وراحته ، وتمكينه من أداء عمله بأنسب الطرق وأقل التكاليف ، وهي تمتاز بشروط حرارية وصحية وأمنية واقتصادية جيدة .

6-1 أجزاء وحدة التدفئة المركزية بالماء الساخن :

تتألف وحدة التدفئة المركزية بالماء الساخن ، الشكل (3-1) ، من الأجزاء الرئيسية الآتية



الشكل (3-1) أجزاء وحدة التدفئة بالماء الساخن

1- مرجل : وهو عبارة عن مبادل حراري سطحي يتم فيه تبادل الحرارة بين الحرارة المتولدة من احتراق الوقود والماء الناقل للحرارة.

2- سطوح التسخين (المشعات) : وهي مبادلات حرارية سطحية يتم عبرها تبادل الحرارة بين الماء الساخن والهواء المراد تدفئته (هواء الوسط الداخلي) .

3- أنابيب : تشكل وسيلة ربط بين المرجل وسطوح التسخين ، وتتضمن خطاً للذهاب وآخر للإياب في أنظمة التدفئة المركزية المزدوجة .

4- مضخات : تعمل على تسريع الجريان بين المرجل وسطوح التسخين ، وتتغلب على ضياعات الاحتكاك والمقاومات الخاصة في الشبكة .

5- ملحقات : تتضمن أجهزة حماية وتحكم وأمان (حرّاق – مجمعات – نفاثات – خزان تمدد – سكورة – فلاتر – صمامات – وصلات مرنة – لوحة كهربائية ...) .

حسب درجة حرارة الماء الساخن عند مخرج المرجل ، يمكن أن نميز بين عدة أنواع:

1- **أنظمة التدفئة بالماء الساخن ذات درجة الحرارة المنخفضة** ($t_1 \leq 60C$) كما هو الحال في أنظمة التدفئة الأرضية بالإشعاع ، وفي تدفئة المكاتب والمشافي ورياض الأطفال .

2- **أنظمة التدفئة بالماء الساخن ذات درجة الحرارة الوسط** ($t_1 \leq 105C^o$) ، وهو النوع الأكثر استخداماً ، لأنه أكثر اقتصادية ومناسب لجميع الأبنية .

3- **أنظمة التدفئة بالماء الساخن ذات درجة الحرارة المرتفعة** ($t_1 \leq 150C^o$) ، (عند ضغط مناسب) ، وهو الأكثر استخداماً في الأبنية الضخمة مثل المساجد والكنائس ودور الثقافة والسينما والمسارح والأوبرا والمعامل والورشات ... ويعتبر هذا النظام أكثر كلفة لأنه يحتاج إلى مبادلات حرارية ووسائل حماية وتحكم وأمان ، أكثر منها في الأنظمة السابقة .

2-3 مراحل دراسة أي مشروع تدفئة :

عند دراسة أي مشروع تدفئة ، يجب اتباع الخطوات الآتية :

1- حساب الضياعات الحرارية الحاصلة من المبنى بالنفوذ الحراري والتسربات والتهوية .

2- حساب مساحة سطوح التسخين وتوزيعها في المكان.

3- حساب أقطار شبكة الأنابيب والعزل الحراري اللازم.

4- حساب استطاعة المرجل وأبعاد غرفة المراجل.

5- حساب استطاعة الحرّاق اللازم وحجم خزانات الوقود .

6- حساب حجم وأبعاد خزان التمدد وملحقاته .

7- تصميم المدخنة اللازمة .

8- رسم المخططات اللازمة .

9- إعداد دفتر الشروط الفنية وتحليل الأسعار وجدول الكميات والأسعار .

10- إعداد المذكرة الحسابية .

3-3 حساب الضياعات الحرارية من المبنى :

من المعروف أن الضياعات الحرارية من المبنى تتم بطرق ثلاثة وهي :

1- عن طريق النفوذ الحراري عبر الجدران والأسقف والأرضيات والنوافذ والأبواب.

2- عن طريق التسرب والتهوية .

3- عن طريق إضافات التدفئة التي تأخذ بالاعتبار توقف التدفئة والسطوح الخارجية والجهة والارتفاع .

تحدد ضياعات النفوذ الحراري Q_o عبر الجدران والأسقف والأرضيات والنوافذ والأبواب من قانون النفوذ الحراري الآتي :

$$Q_o = K.A.(t_i - t_o) \qquad W \qquad (6.1)$$

حيث K: عامل النفوذ الحراري؛ [$W/m^2.C^o$] للجدار أو السقف أو الأرضية أو النافذة أو الباب ، وتحدد قيمته حسابياً للجدران ومن الجداول للنوافذ والأبواب.

A : سطح الحاجز المدروس ؛ [m^2] .

t_i, t_o : درجتا الحرارة التصميميتان الداخلية والخارجية ؛ [C^o] وتحددان من الجداول .

- تحدد ضياعات التسرب والتهوية Q_u .
- تحدد إضافات التدفئة Q_z.

وبالنتيجة ، الضياعات الحرارية الإجمالية Q_{tot} تساوي :

$$Q_{tot} = Q_o + Q_z + Q_u \qquad W \qquad (6.2)$$

لإنجاز المراحل السابقة نتبع ما يلي :

1- نرقم الغرف في كل طابق ونضعه ضمن دائرة في وسط الغرفة وفوق خط الكسر ، كما في الشكل

،

.

2- نختار درجات الحرارة التصميمية ونضعها أسفل خط الكسر بالدائرة نفسها .

3- نوجد K لمختلف البنيات في البناء (جدار خارجي – جدار داخلي – سقف – أرضية – نافذة – باب ...) ، بعد تحديد λ لكافة مواد البناء .

4- نحسب Q_o لكل غرفة بعد تحديد درجة الحرارة التصميمية الخارجية .

5- نحسب Q_z لكل غرفة بعد تحديد عوامل انتقال الحرارة الوسطي :

D و Z_D و Z_s و Z_h

6- نحسب Q_d الضياعات الفعلية بجمع Q_o و Q_z .

7- نحسب Q_u بعد تحديد عدد مرات تغير الهواء والحجم ، لكل غرفة .

8- نحسب الضياعات الإجمالية بجمع $Q_{tot} = Q_z + Q_d$ ونضعها أسفل الدائرة في كل غرفة .

9- نحسب الضياعات الحرارية الكلية للمبنى من جمع Q_{tot} لكل حيّز مغلق فنحصل على ΣQ .

10- نرتب المعطيات والنتائج في جدول (6-1) حتى يصغر حجم المذكرة الحسابية لدى طلبها من قبل الجهات الرسمية .

الجدول (٢-١) جدول حساب الضياعات الحرارية الإجمالية لأماكن المدفأة

	رقم المبنى	1	1	
	رقم المكان المدفأ	2	$\frac{1501}{20}$	
مواصفات الحاجز	رمزه	3	ت.ج ت.ن	
	اتجاهه	4	N	
	أبعاده $(a\times b)\ m\times m$	5	a,b	
	مساحته m^2	6	F'	
	المساحة المطروحة m^2	7	f	
	المساحة المعتبرة $F\ m^2$	8	F	
	عامل النفوذ الحراري $K\ W/m^2.C^o$	9	K	
	فرق درجات الحرارة $\Delta t\ C^o$	10	$t_i - t_o$	
	الضياعات النظرية لكل حاجز Q_i	11	$KA\Delta t$	
	الضياعات النظرية الإجمالية ΣQ_i	12	$\Sigma KA\Delta t$	
إضافات التدفئة	عامل الاتجاه	13	$\%\ Z_3$	
	عامل انتقال الحرارة الوسطي الإجمالي	14	D	
	عامل السطوح الخارجية ومقطع التدفئة Z_D	15	$\%\ Z_1 + Z_2$	
	عامل الارتفاع Z_4	16	$\%\ Z_4$	
	عامل الضياعات الإجمالي	17	$Z = Z_p + Z_3 + Z_4$	
الضياعات الفعلية $Q_p = Q_o(1+z)$		18	Q_T	
حجم البناء m^3		19	V m^3	
عامل تسرب الهواء		20	n	
ضياعات التسرب Q_u		21	Q_u	
الضياعات الحرارية الإجمالية $Q = Q_T + Q_4$		22	Q	

ملاحظة : يمكن إجراء الحسابات السابقة عن طريق الكمبيوتر بعد برمجة كافة العلاقات والجداول السابقة ضمن برنامج جاهز تعطى له فقط المدخلات حتى نحصل على النتيجة .

ويوجد حالياً في الأسواق برامج جاهزة تفي بالغرض .....HAP,Excel.

إن رفع الضياعات الحرارية النظرية حوالي 50% وأكثر يؤدي إلى رفع درجة حرارة غرفة على حساب غيرها ، لذلك يمكن القول إن حسابات التدفئة تقريبية وغير دقيقة وتتم بشكل غير متطور وغير دقيق ، وبالتالي عند الحساب يمكن :

1- تقريب الأرقام الأخيرة إلى أقرب عشرة .

2- إهمال الضياعات الحرارية عبر الجدران الداخلية عند $t_i - t_o \le 2C^o$.

3- إهمال الكسب الحراري عبر الجدران الداخلية عند $t_o - t_i \le 5C^o$ (صيفاً) .

4- ضم الأبواب والنوافذ إلى مساحة الجدار عند $\Delta t \le 5C^o$.

3-4 الطريقة التقريبية لحساب الضياعات الحرارية من المبنى :

يمكن حساب الضياعات الحرارية لأي مكان مدفأ بشكل سريع وتقريبي من العلاقة :

$$Q_{tot} = q_o . V \qquad (6.3)$$

حيث q_o : كمية الحرارة اللازمة لتسخين واحدة الحجم من الهواء في المكان المدروس ؛ $[W/m^3]$.

V : حجم الهواء في المكان المدروس ؛ $[m^3]$.

تحدد قيمة q_o من الجدول (3-2) حسب وضعية المكان .

الجدول (3-2) تحديد قيمة q_o $[W/m^3]$

نوعية المكان	q_o $[W/m^3]$
غرفة ذات جدارين خارجيين	50 – 70
غرفة ذات موقع سيء	40 – 50
غرفة ذات موقع جيد	30 – 40

أجهزة التدفئة بالماء الساخن وملحقاتها

1- المراجل وملحقاتها :

المرجل عبارة عن مبادل حراري يتم فيه تحويل الطاقة الكيميائية الكامنة في الوقود إلى طاقة حرارية تستخدم لتسخين الماء اللازم للتدفئة (أو لتوليد البخار في حال التدفئة بالبخار).

الشكل (4-1) مرجل الماء الساخن

تصنف المراجل حسب مادة الصنع إلى نوعين:

آ- المراجل الفونطية :

الأكثر استخداماً، وتصنع من مادة الفونط (حديد الصب)، يصنع المرجل من مقاطع منفصلة تكون مرتبة ومرقمة حسب تسلسل تركيبها، مؤلفة من مقطع أمامي يركب عليه الحراق، ومقطع خلفي يحتوي على فتحة المدخنة ومقاطع عادية تركب بين المقطعين السابقين، وتشد جميعها بوساطة أربع براغي شد، اثنان من الأعلى واثنان من الأسفل بعد وضع مائع تسرب بين المقاطع على المجرى العلوي والسفلي ومعجونة بالفواصل في بيت النار.

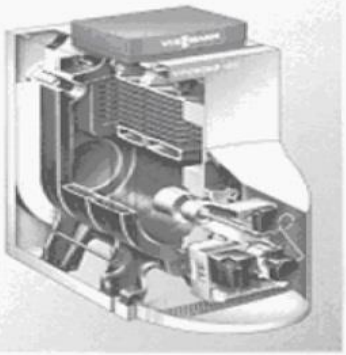
تجمع المراجل الصغيرة في المعمل وتأتي جاهزة مع العزل الحراري والقميص إلى مكان التركيب، بينما المراجل الكبيرة تجمع في المكان حسب نموذج (كاتلوك) التركيب، المبين على الشكل (4-2) .

تثبت المراجل على قاعدة بيتونية معزولة حرارياً سماكتها لا تقل عن 10 cm، وأبعادها أكبر من أبعاد المرجل بحوالي 25 *cm* من جميع الأطراف .

تمتاز المراجل الفونطية : سهولة النقل والفك والتركيب والصيانة، مقاومة جيدة للتآكل والصدأ، إمكانية زيادة الاستطاعة بزيادة عدد المقاطع، مقاومة ضعيفة للصدم الميكانيكي والحراري، ذات أوزان مرتفعة ، سعتها الحرارية عالية.

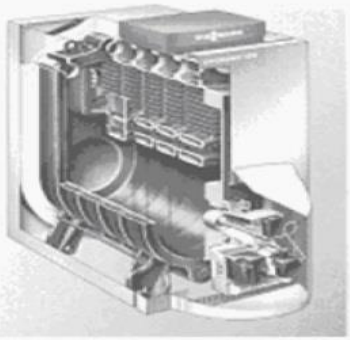
Specification

VITOROND 100
range from 20 to 110 kW



VITOROND 100

Rated output	**kW** kcal/h	**20** 17 200	**27** 23 220	**36** 30 960
Total dimensions	Length mm Width mm Height mm	515 500 830	650 500 830	790 500 830
Number of sections		2	3	4
Total weight	kg	115	152	189
Boiler water content	litres	27	35	44
Operating pressure	bar	4	4	4
Efficiency	%	94,5	94,5	94,5
Flue gas temperature	°C	170	170	170



VITOROND 100

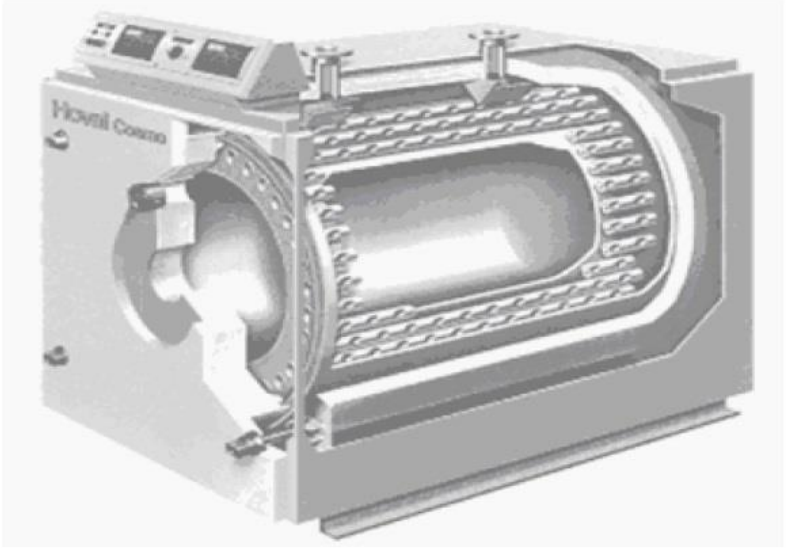
Rated output	**kW** kcal/h	**45** 38 700	**57** 49 020	**70** 60 200	**88** 75 680	**110** 94 600
Total dimensions	Length mm Width mm Height mm	583 605 1 001	710 605 1 001	837 605 1 001	964 605 1 001	1 091 605 1 001
Number of sections		3	4	5	6	7
Total weight	kg	208	261	314	361	416
Boiler water content	litres	50	63	76	89	102
Operating pressure	bar	4	4	4	4	4
Efficiency	%	94,5	94,5	94,5	94,5	94,5
Flue gas temperature	°C	170	170	170	170	170

الشكل (4–2) يبين أجزاء المرجل الفونطي واستطاعتها (فيسمان الألماني)

ب– المراجل الفولاذية :

وهي الأقل استخداماً ، وتصنع من مادة الفولاذ ، تتحمل درجات حرارة وضغوط مرتفعة، والشكل (4–3) يبين أجزاء أحد أشكالها ونشرتها الفنية .

يستخدم في المراجل الوقود الصلب أو السائل أو الغازي ، والأكثر استخداماً في المنازل الوقود السائل (المازوت) ، وفي الصناعة الفيول أو المازوت معاً، أو الغاز .



الشكل (4–3) مرجل فولاذي

يتم حساب استطاعة المراجل بشكل عام من العلاقة الآتية :

$$Q_b = Q_t(1+a+b) \qquad \textbf{(4.1)}$$

حيث Q_t [w] : الحمل الحراري الإجمالي للمبنى المدروس (الضياعات الحرارية + إضافات التدفئة) .

a: عامل يأخذ بالاعتبار عزل الشبكة : 5% للشبكة المعزولة .

10% للشبكة غير المعزولة.

b: عامل يأخذ بالاعتبار توقف التدفئة :و هي الاستطاعة الحرارية الإضافية المطلوبة للمرجل من أجل التغلب على انخفاض درجات الحرارة الناجم عن توقف عمل نظام التدفئة و يساوي :

- 5% للتدفئة المستمرة (أكثر من 16 ساعة تشغيل يومياً).
- 10% للتدفئة النصف مستمرة (8-16ساعة تشغيل يومياً).
- 15% للتدفئة المتقطعة (أقل من 8ساعات تشغيل يومياً).

Q_b : استطاعة المرجل ؛ [W] .

يحدد المرجل بمواصفاته الفنية التي تشمل بشكل أساس استطاعته ومساحة سطحه الحراري ومردوده. ومن النشرة الفنية يتم اختيار نموذجه حسب الاستطاعة المطلوبة.

- حتى استطاعة $300kW$ يتم اختيار مرجل واحد بالاستطاعة نفسها.
- ومن $300-500kW$ يتم اختيار مرجلين استطاعة كل منهما ثلثي الاستطاعة.
- ومن $500kW$ وما فوق ، يتم اختيار ثلاثة مراجل استطاعة كل منهما 1/3 الاستطاعة .

والأفضل اختيار اثنين كل منهما باستطاعة 40% ، والثالث 20% (مثلاً من أجل استطاعة $500kW$ نختار $200+200+100kW$) لإمكانية المناورة أكثر أو لزيادة احتمالات التشغيل، حيث يمكن تشغيل (200+200+100) في الأيام شديدة البرودة، و(200+200) في الأيام الباردة، و(100+200) في الأيام المعتدلة، و(200) في الأيام الدافئة ، و(100) من أجل تحضير الماء الصحي فقط ، (أي خمس احتمالات).

ملحقات المراجل

تزود عادة المراجل بأجهزة ملحقة للتشغيل والقياس وهي تختلف باختلاف الوظيفة التكنولوجية للمرجل، وتجهز المراجل المائية بالملحقات الآتية:

1- صنبور لتفريغ وملء الماء في أسفل المرجل(اخفض نقطة في الشبكة).
2- ميزان حرارة لقياس درجة حرارة الماء الذاهب.
3- مقياس ضغط لقياس الضغط داخل المرجل.
4- صمام أمان يفتح عند ارتفاع الضغط في المرجل عن حد معين.
5- أنبوب يهوية للمرجل يوصل مع خزان التمدد من أعلى المرجل(في حال كان خزان التمدد مقتوح).
6- منظم لدرجة الحرارة يتحكم بعمل الحراق.
7- صفارة إنذار تعمل عند انخفاض مستوى الماء في الشبكة عن حدٍ معين أو نفاذ الوقود أو توقف الحراق لأي سبب كان
8- عدة تنظيف للصيانة السنوية للمرجل.

2- غرفة المراجل ومواصفاتها:

عادة يحدد المهندس المعماري غرفة في القبو أو خارج المبنى لتوضع المراجل وملحقاتها ويجب أن تمتاز بالمواصفات الآتية :

1- أن تسمح المداخل والأدراج والممرات بالوصول إليها.

2- أن تكون معزولة صوتياً بمواد مقاومة للحريق.

3- أن تسمح بترك مسافات حول المراجل من أجل أعمال الصيانة.

4- أن تتصل مع جدار خارجي أو منور مناسب لبناء المدخنة وتأمين التهوية المناسبة.

5-أن تكون قريبة من خزان المازوت الرئيسي ومفصولة عنه بجدار غير قابل للاحتراق .

6- أن تحتوي على مصرف يتصل مع شبكة الصرف الصحي ومصدر ماء وكهرباء مناسب.

8- أن تكون مجهزة بجهاز إطفاء حريق مناسب.

9- أن تكون مجهزة بخزان وقود يومي.

10 أن تكون مجهزة بباب مقاوم للحريق ويفتح للخارج .

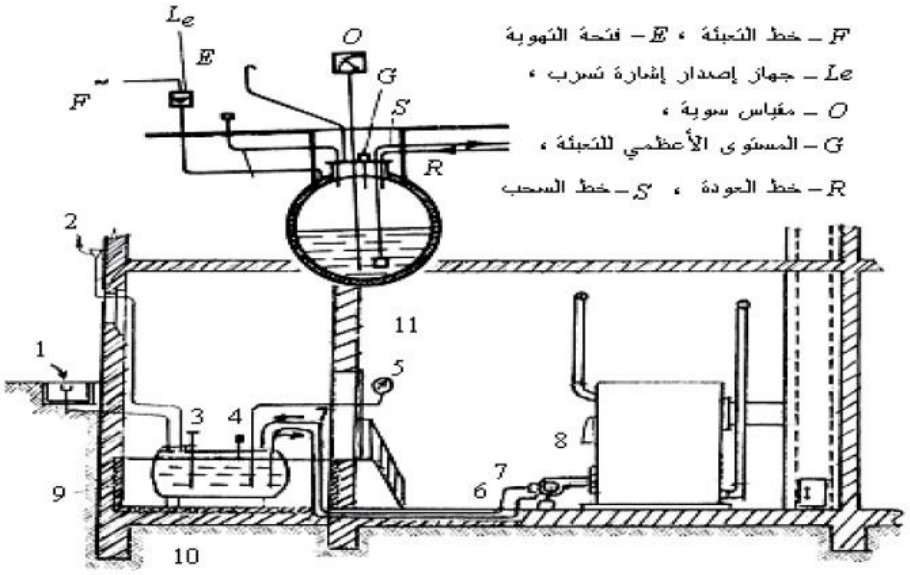
11- ألاّ يقل ارتفاعها عن ($3\ m$) .

12- ألاّ تقل مساحتها عن :(5.2) $$A = 0.6 \times Q_b^{2/3}\ [m^2]$$

13- أن تضمن فتحة للتهوية ، وأخرى لطرد الهواء الفاسد.

14- أن تكون مجهزة بغرفة تفتيش ($60 \times 60 \times 60 cm$) وبمضخة قاذورات لترحيل المواد الملوثة للبيئة إلى أماكن مناسبة.

والشكل (4-4) يبين توزع المراجل وملحقاتها في الغرفة .

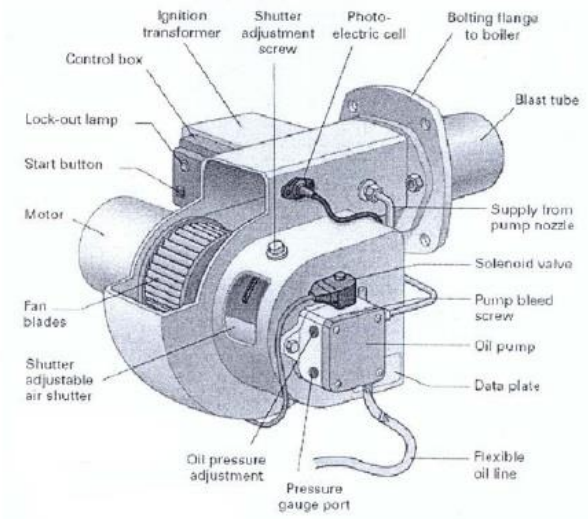


الشكل (4-4) توزع مرجل وملحقاته في الغرفة

1- أنبوب تعبئة ، 2- تهوية مع مطفئ شرارة ، 3- أنبوب اختبار ، 4- حساس سوية حدي ، 5- مؤشر سوية ، 7,6- أنبوب تغذية وعودة للوقود ، 8- حراق ، 9- حوض معزول ضد تسرب الوقود وحجمه يساوي حجم الخزان ، 10- خزان مازوت ، 11- باب مقاوم للنار

3- الحراقات والاستهلاك الساعي للوقود :

تعمل حراقات الوقود على تذرير الوقود ومزجه مع الهواء لتشكيل مزيج سهل الاشتعال. يزود الحراق بمحرك كهربائي وبمضخة لرفع ضغط الوقود وتذريره عبر فوهة خاصة (فالة) ، وبمروحة تعمل على تأمين الهواء اللازم للاحتراق ومزجه مع الوقود ، وبمولد شرارة يعمل على تأمين شرارة الاحتراق بعد مزج الوقود مع الهواء، وبخلية ضوئية تعمل على إطفاء الشرارة عند ظهور اللهب في حجرة الاحتراق .



الشكل (4-5)حراق وقود سائل

ويتكون الحراق من:

1- محرك كهربائي : يدور وتدور معه مروحه لدفع الهواء وتأمين أوكسجن كافي للهب كما يوجد على نفس المحور مضخة وقود ميكانيكة.

2- مضخة الوقود : وهي مضخة ميكانيكية.

3- رافع الجهد : يرفع الجهد حتى 1000V ويصل إلى مسريين المسافة بين رأسيهما 0.5mm وبسبب فرق التوتر الكبير يتأين الهواء وتحصل الشرارة الكهربائية الكافية لحرق الوقود.

4- الأقطاب: المساري.

5- فالة تذرير :تساعد على تذرير الوقود إلى ذرات صغيرة جدا يوجد فلتر داخل مضخة الوقود عند اشتعال اللهب تقطع الشرارة الكهربائية باستخدام خلية ضوئية حيث يعمل الضوء الصادر عن اللهب على التاثير على الخلية الضوئية الموضوعة بالمكان المناسب فتقوم بدورها بقطع الشرارة مع استمرار اشتعال اللهب ورغم ذلك توضع الخلية الضوئية قرب الحراق ويجب أن تكون نظيفة وشفافة.

6- الخلية الضوئية.

7- لوحة تحكم الكترونية : وتعمل بشكل الكتروني على إدارة المحرك الكهربائي ثم على رافع الجهد لإطلاق الشرارة ومن ثم قطعها.

آلية عمل الحراق:

1- يدور المحرك الكهربائي ويدور معه المروحة التوربينية ومضخة الوقود.

2- يغذى رافع الجهد بالتيار ويبدأ بتوليد الشرارة عند الاقطاب في المقدمة.

3- يفتح صمام الوقود ويبدأ الوقود بالتدفق إلى مقدمة الحراق مارا بالفالة ومتحولا إلى رذاذ.

4- يتشكل اللهب لتوفر عناصر الاشتعال (الوقود – الحرارة – الاكسجين)

5- يتوقف رافع الجهد عن توليد الشرارة الكهربائية وذلك عن طريق الخلية الضوئية.

تحدد استطاعة الحراق بعد تحديد الاستهلاك الساعي للوقود والذي يحدد من العلاقة الآتية :

$$W_h = \frac{3600 Q_b}{\eta_b . H_v} \qquad kg/h \tag{4.3}$$

حيث Q_b : استطاعة المرجل ؛ [kW] . η_b مردود الحراق . H_v القيمة الحرارية للوقود [kj/kg_f]

يتم تحديد نموذج الحراق المناسب حسب الاستهلاك الساعي للوقود واستطاعة المرجل من النشرات الفنية.

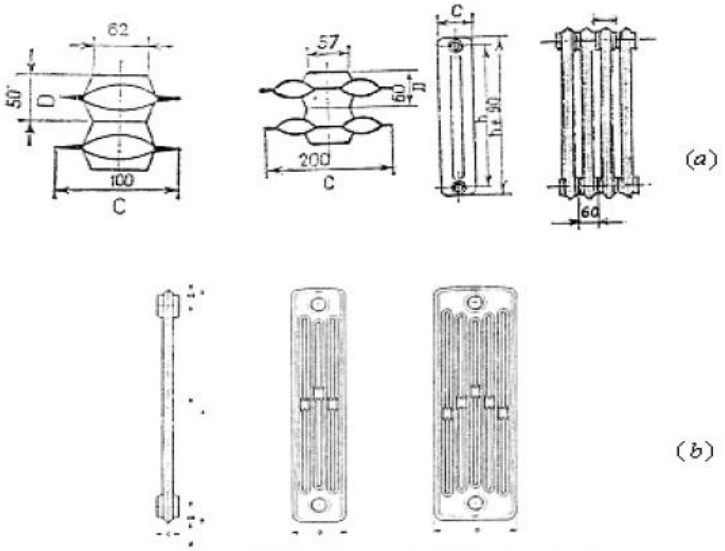
4- تصميم سطوح التسخين (المشعات):

- **تعريفها :** هي عبارة عن مبادلات حرارية يتم عبرها انتقال الحرارة من الوسط الحراري الساخن (ماء أو بخار) إلى هواء المكان المدفأ .

أنواعها : أقدم وأبسط سطوح التسخين أنبوب يمر فيه ماء ساخن ، عندما يبرد يعطي حرارته إلى الوسط المحيط عن طريق الإشعاع والحمل . وأحدث أنواع سطوح التسخين تصنف إلى:

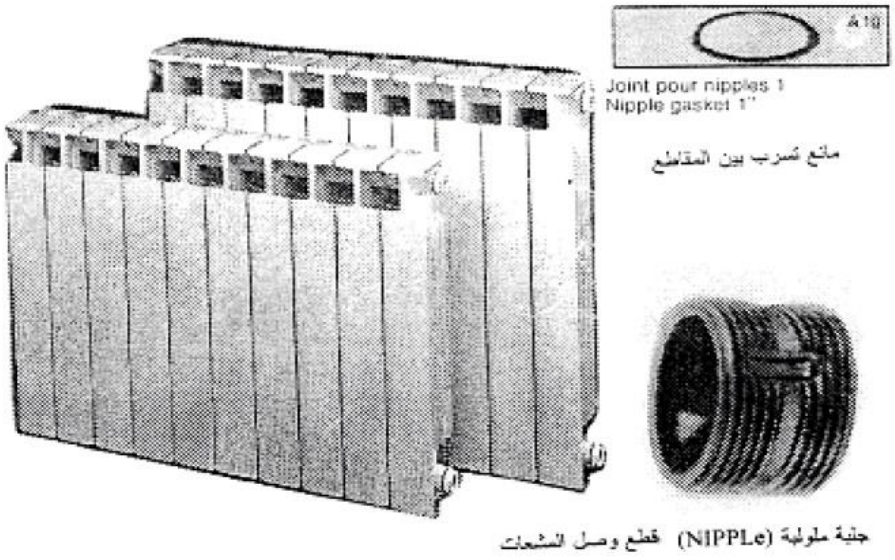
- المشعات الفونطية - المشعات الفولاذية - مشعات الألمنيوم .

1- المشعات الفونطية : وهي الأكثر استخداماً في الحياة العملية لسهولة تنظيفها من الغبار وانخفاض ثمنها نسبياً ، ولا تشغل حيزاً كبيراً من المكان المدفأ ، وتصنع من عناصر قابلة للتجميع ، وتمتاز بسعة حرارية تخزينية مرتفعة وبعامل إشعاع مرتفع وبمقاومة كبيرة للتآكل والتأكسد . تصنع من الفونت على شكل مقاطع يمكن جمعها في الورشة ، ويمكن أن تكون بإصبع واحد أو أثنين حتى ثمانية أصابع ، الشكل (4-6) .



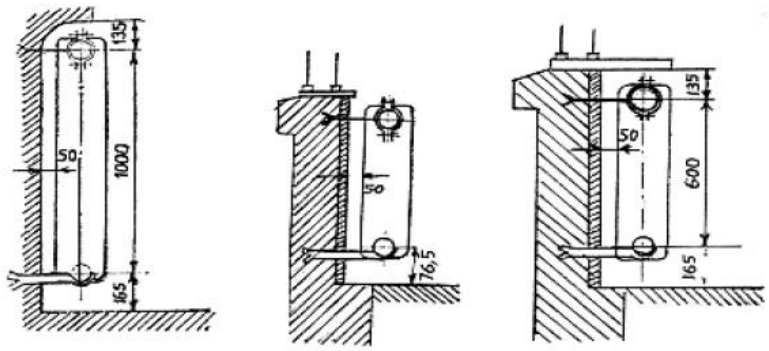
الشكل (4-6) المشعات الفونطية وأنواعها

a- مشعات فونطية بإصبع واحد وإصبعين ، b- مشعات فونطية إيطالية بأربع وست أصابع



تتمة للشكل (4–6)

- تزود كل دفاية بسكر فتح وإغلاق عند مدخل الدفاية من الأعلى ، وبسكر عياري من الأسفل عند مخرج الماء ، وبنفاث يدوي للتخلص من الهواء المتراكم في الشبكة عند ملئها بالماء .
- تركب المشعات الفونطية على الجدران تحت النوافذ لكي تلبي المتطلبات المعمارية والاجتماعية والفنية. وفنياً يجب توضع الدفايات في مكان الضياع الحراري الأعظمي، ولمقاومة الإشعاع البارد السلبي من النوافذ، ولتحقيق تدرج حراري مناسب خلف النوافذ باتجاه هواء الغرفة. وتركب الدفايات على الجدران بوساطة كونسولات معدنية على شكل المنجل بمعدل كونسول لكل ستة مقاطع، والشكل (4–7) يوضح طريقة تثبيت الدفايات على الجدران والحدود المسموحة لذلك .



الشكل (4–7) الحدود المسموحة عند تركيب الدفايات على الجدران

تطلى المشعات بعد تركيبها بمادة مقاومة للصدأ، ثم تبخ بدهان مقاوم للحرارة (دهان معدني) ذي لون مناسب وعامل إشعاع كبير .

يحدد عدد مقاطع التسخين من الحمل الحراري للغرفة ومن استطاعة المقطع الواحد لنوع الدفايات المختار (شاييه – ايديال كليما – فيرولي – سافين – تركي – رينكا ...) الذي يحدد من نموذج (كاتلوك) الشركة الصانعة حسب النموذج المختار ومنه:

$$n = \frac{Q_{tot}}{q.\eta} \qquad (5.4)$$

حيث Q_{tot} : الضياعات الحرارية الإجمالي للغرفة ؛ $[W]$.

q : استطاعة المقطع الواقع ؛ $[W]$.

n : عدد المقاطع .

η : مردود الدفاية % 90 – 80 .

2– المشعات الفولاذية :

تصنع من الفولاذ، ويمكن أن تكون إصبعية أو إطارية.

آ– المشعات الفولاذية الإصبعية : تقريباً لها شكل المشعات الفونطية نفسها ، إنما لا تصنع على شكل مقاطع بل كتلة واحدة باستطاعة ثابتة عند درجة حرارة ثابتة ، والطول الأعظمي لها 20 مقطعاً .

تمتاز هذه المشعات بسرعة الاستجابة الحرارية عند بدء التشغيل وبسرعة برودتها عند التوقف وبعامل إشعاع منخفض نسبياً ووزن منخفض، وضعف مقاومتها للتآكل والصدأ وبقابليتها للحام.

3– مشعات الألمنيوم :

تصنع هذه المشعات من الألمنيوم، ويعتبر هذا النوع أفضل وأكثر كلفة من المشعات الفولاذية بفضل مقاومتها للتآكل والتأكسد ، وعلى العكس بالنسبة للمشعات الفونطية .

ملاحظة : بعد حساب المشعات نرتب النتائج في جدول خاص ، الجدول (6–9) .

الجدول (6–9) نتائج حساب سطوح التبادل الحراري

رقم الغرفة / درجة حرارتها	وظيفتها	ضياعاتها الحرارية W	$\Delta t_m = t_m - t_i$	نوع المشعات المختارة	عدد الأصابع	ارتفاع المشع	استطاعة المقطع الواحد W	عدد المقاطع	توزيعهم	الاستطاعة الجديدة للغرفة
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

مثال (3) : احسب عدد مقاطع سطوح التسخين اللازمة لغرفة ضياعاتها الحرارية الإجمالية $4000W$ ، ودرجة حرارتها التصميمية $20C^o$ ، ونظام التدفئة المستخدم 70/90 .

علماً أن للغرفة جدارين خارجيين يحتوي كل منهما على نافذة ألمنيوم يرتفع أسفلها عن سطح البلاط $90\ cm$.

الحل : من النشرة الفنية نختار نموذج 4/700 ، لأن المشع سيرتفع عن الأرضية $10\ cm$ ، وينخفض عن النافذة $10\ cm$.

1- نحسب Δt_m :

$$\Delta t_m = t_m - t_i = \frac{t_1 + t_2}{2} - t_i = \frac{90+70}{2} - 20 = 60\ C^o$$

2- من النشرة الفنية نموذج 4/700 نحدد استطاعة المقطع الواحد عندما $\Delta t_m = 60\ C^o$ ، فنجد :

$$q = 138\quad W$$

3- نحسب عدد المقاطع :

$$n = \frac{Q_{tot}}{q.\eta} = \frac{4000}{138 \times 0{,}9} = 32$$

4- توزيعهم : نوزعهم على مشعين ، عدد عناصر كل منهما 16 عنصر .

6-5- قواعد تركيب المشعات وأصولها :

عند تركيب المشعات يجب أخذ الأمور الآتية بالاعتبار :

1- تركب في أبرد مكان من الغرفة تحت النوافذ وقرب الأبواب الخارجية لتجنب التيارات الباردة والتدرج الحراري.

2- توزع في المكان المدفأ بحيث لا تبعد أي نقطة منها أكثر من ستة أمتار عن أقرب مشع.

3- عدم ربط أكثر من أربع مشعات بصاعد واحد في الطابق الواحد.

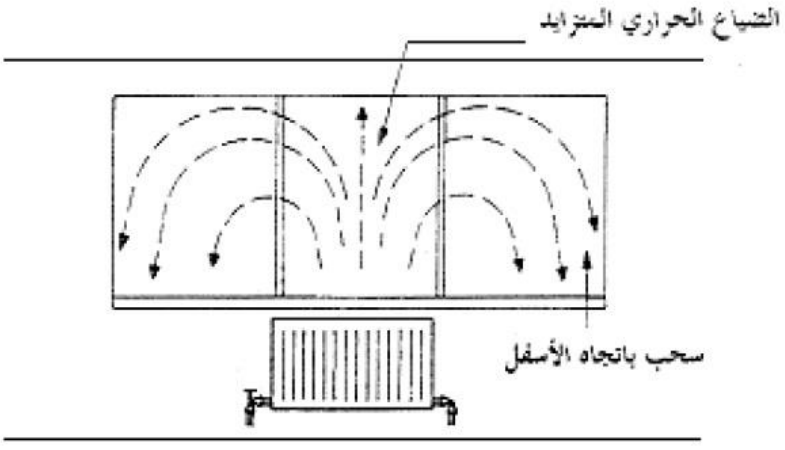
4- ترك مسافة بين المشع والجدار لا تقل عن $5cm$ وبين المشع والأرضية عن $10cm$ ، وذلك لتأمين ظروف التبادل الحراري الجيد بين هواء الغرفة والمشع ، ولإمكانية تنظيف الجهاز والأماكن المحيطة به.

5- اختيار أبعاد المشعات بشكل يتناسب مع أبعاد المكان الذي ستركب فيه.

6- ألا تكون الأجهزة بارزة في المكان المركبة فيه حتى لا تعيق العمل والحركة في المكان ، وتسمح بوضع الأثاث وغيره على الجدران .

7- ألا تحجز المفروشات وغيرها من الأثاث المنزلي أجهزة التدفئة ، لأن ذلك يخفض من استطاعتها الحرارية .

8- يفضل أن يتناسب طول المشع مع طول النافذة حتى لا تتشكل نافورة حرارية خلف النافذة ، الشكل (4-8) .



الشكل (4-8) تشكل نافورة حرارية خلف النافذة

7-5-المداخن (أشكالها – حسابها – تنفيذها) :

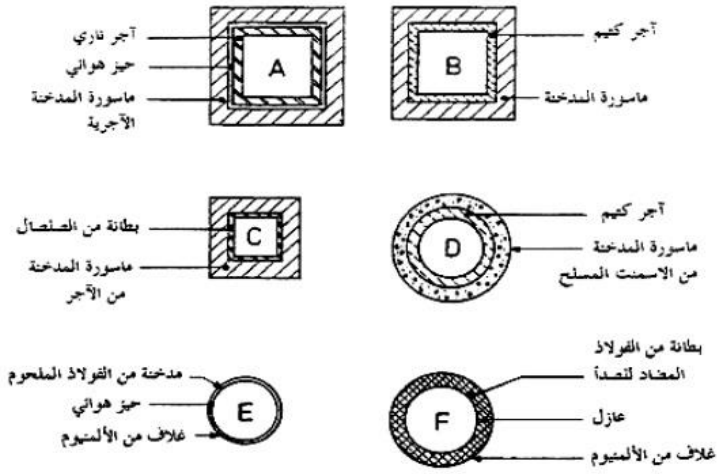
تعمل المداخن على طرد نواتج الاحتراق المتشكلة نتيجة احتراق الوقود بطريق ما إلى الوسط الخارجي لتجنب التلوث . وحسب توضع المدخنة نميز نوعين من المداخن :

آ- المدخنة الأفقية : وتصنع من الصاج الأسود بسماكة لا تقل عن $3mm$ ، ويكون مقطعها دائرياً وأكبر بقليل من مقطع المدخنة الشاقولية ، مهمتها إيصال غازات الاحتراق من المرجل إلى المدخنة الشاقولية .

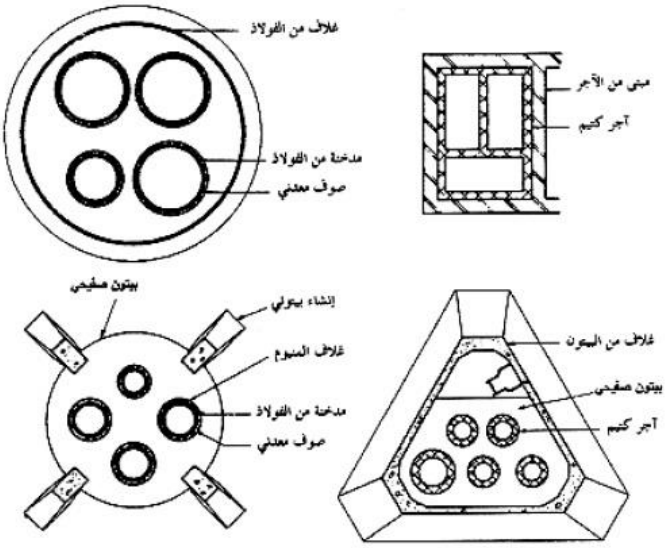
تدهن المدخنة بطبقتي مانع صدأ ، ثم تغلف بطبقة من الصوف الصخري $(5-10)cm$ ثم بطبقة من الصاج المغلفن ، وتعطى ميلاً صاعداً قليلاً باتجاه المدخنة الشاقولية .

ب- المدخنة الشاقولية : مهمتها تأمين قوة سحب تتغلب على ضياعات الاحتكاك في حجرة الاحتراق وفي المدخنة الأفقية والشاقولية . تصنع المدخنة حسب استطاعة المرجل مما يلي :

- الاترنيت : للمراجل الصغيرة (المنزلية) ، وتكون على شكل أنابيب (بواري) مسبقة الصنع .
- الصاج المعزول حرارياً : للمراجل الصغيرة أيضاً . وتصنع من الصاج الأسود بسماكة لا تقل عن $3mm$ ، وتدهن بطبقي مانع صدأ ثم تغلف بطبقة عزل من الصوف الصخري ($5cm$) ، ثم بطبقة من الصاج المغلفن ،
- القرميد الحراري : للمراجل الكبيرة وتبنى من القرميد العازل الحراري بوساطة مواد رابطة من الأسمنت والترابة النارية وتزود من الأعلى بطربوش خاص مناسب معمارياً .



الشكل (4-9 آ) طرق إنشاء المدخنة المفردة



الشكل (4–10 ب) طرق إنشاء المدخنة المتعددة

– البيتون المسلح المبطن بالآجّر الناري : للاستطاعات الكبيرة ، الشكل (4–10) .

– البيتون المسلح المبطن بالآجّر الناري مع فراغ هوائي : للاستطاعات الكبيرة كما في المحطات المركزية الكبيرة.

حساب المداخن :

من أجل المداخن ذات السحب الطبيعي ، يحدد ارتفاع المدخنة من العلاقة الآتية :

$$H_{\min} = \frac{10^3 \times Z_C}{23 \times (t_g - t_o)} \qquad m$$

حيث :

Z_C: سحب المدخنة الستاتيكي [pa] . و يعطى بالعلاقة :

$Z_C = 4/3 Z_b$

Z_b: السحب اللازم للمرجل و يعطى في النشرات الفنية للمراجل و يتراوح بين pa (60–20) .

t_o: درجة حرارة الجو الخارجي (C^o 10 شتاءاً ، C^o 25 صيفاً) .

t_g: درجة حرارة غازات الاحتراق ، وتؤخذ وسطياً C^o 150 .

ويحدد مقطع المدخنة من العلاقة :

$$A_f = \frac{W_h}{100\sqrt{H_{\min}}} \qquad m^2$$

W_h : وزن الوقود المحترق [Kg/h] .

H_{min} : ارتفاع المدخنة الاصغري [m] .

A_f : مساحة مقطع المدخنة[m^2] .

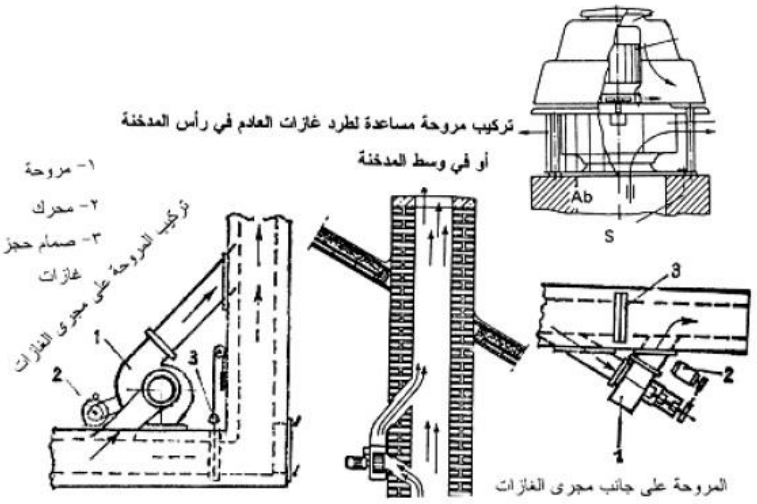
و يحسب سرعة الغازات في المدخنة بالعلاقة التالية:

$W_g = H_{min}/10$ [m/sec]

H_{min} : ارتفاع المدخنة الأصغري [m] .

ومن أجل المداخن ذات السحب القسري : تستخدم فقط في الحالات التي لا تسمح بها الناحية المعمارية لإنشاء مدخنة تؤمن السحب الطبيعي (حالة بناء ذي امتداد أفقي) .

في هذه الحالة تضاف مروحة سحب خاصة على المدخنة ، تؤمن سرعة لغازات الاحتراق لا تقل عن $6m/s$ ، ويتم ذلك بعد معرفة تدفق غازات الاحتراق وهبوط الضغط داخل مجرى السحب لنواتج الاحتراق . ويوضح الشكل (4–11) السحب القسري لغازات الاحتراق في مراجل التدفئة .



الشكل (4–11) السحب القسري لغازات الاحتراق

أقنية الهواء الجديد و الهواء الفاسد:

بالإضافة إلى النوافذ والأبواب لغرفة المراجل يجب تأمين قناة للتخلص من الدخان(الهواء الفاسد) و قناة لجلب الهواء الجديد.

تبنى قناة الهواء الفاسد أقرب ما يكون للمدخنة و في أعلى نقطة من غرفة المراجل و تحدد مساحة مقطعها بالعلاقة التالية:

$$A_g=A_f/2 \qquad [m^2]$$

A_f : مجموع مساحات مقاطع المداخن الموجودة في غرفة المراجل

أما بالنسبة لقناة الهواء الجديد فتكون قرب الأرض و على ارتفاع نصف متر و بدون عوائق و تعطى مساحة مقطعها بالعلاقة التالية:

$$A_a=(A_g+A_f)/2 \qquad [m^2]$$

6-1 حساب تدفق الماء الساخن في الشبكة :

يتوقف مقدار تدفق الماء الساخن في الشبكة على الحمل الحراري الإجمالي للمبنى (يفضل حمل المرجل) وعلى فرق درجة الحرارة بين ماء الذهاب والإياب ، وعلى السعة الحرارية للماء ، ويتم تحديده من العلاقة :

$$G = \frac{Q_b}{\varphi . \Delta t} \qquad kg/h \qquad (6.6)$$

حيث Q_b : استطاعة المرجل ، وتحدد من العلاقة :

$$Q_b = Q_{tot}(1 + a + b) \qquad (6.7)$$

Q_{tot} : الحمل الحراري الإجمالي ؛ $[W]$.

a : عامل يأخذ بالاعتبار عزل الشبكة ومقداره 5% للشبكة المعزولة .

10% للشبكة غير المعزولة .

b : عامل يأخذ بالاعتبار توقف التدفئة ومقداره 5% للتدفئة المتقطعة .

10% للتدفئة نصف المستمرة .

15% للتدفئة المستمرة .

Δt : فرق درجات الحرارة بين ماء الذهاب والإياب ، وعلى الأغلب $\Delta t = 20C^o$.

C_p : السعة الحرارية النوعية للماء ؛ $[kJ/kg.C^o]$.

(عند $t_m = 80C^o \Leftarrow C_p = 1{,}163 wh/kg.C^o$) .

ويمكن تحديد التدفق الحجمي للماء الساخن في الشبكة من العلاقة :

$$V = \frac{G}{\gamma} \qquad (6.8)$$

مثال (4) : احسب مقدار تدفق الماء الساخن في شبكة تدفئة منزلية لمبنى :

- ضياعاته الحرارية الإجمالية 25000 W
- درجة حرارة ماء الذهاب $90\ C^o$ ، والإياب $70\ C^o$.
- الشبكة معزولة ، والتدفئة متقطعة .

الحل :

$$G = \frac{Q_b}{C_p . \Delta t} = \frac{25000(1 + 0{,}05 + 0{,}05)}{1{,}163 \times 20} = 1182 \quad kg/h$$

$$V = \frac{G}{\gamma} = \frac{1182}{971{,}8} = 1{,}2 \qquad \frac{m^3}{h}$$

6-9-4 خزانات التمدد وملحقاتها :

يعتبر خزان التمدد من ظأهم تجهيزات نظام التدفئة ووجوده ضروري لضمان عمل النظام بشكل آمن وجيد.

يقوم خزان التمدد باستيعاب حجم الماء الزائد في الشبكة نتيجة تسخينه من درجة حرارة ماء الشبكة الرئيسية $(10C^o)$ إلى أعلى درجة حرارة للمرجل $(90C^o)$ درجة حرارة ماء الذهاب في المرجل.

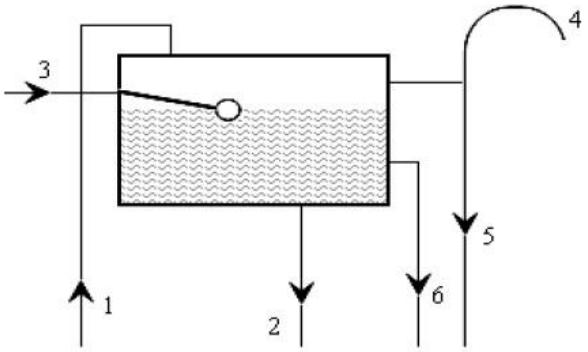
حسب الضغط المسيطر على خزان التمدد نميز بين نوعين :

آ- خزان تمدد مفتوح :

يركب أعلى من أعلى نقطة في شبكة التدفئة ، وسمي بالمفتوح لأنه على اتصال مع الجو الخارجي، والضغط المسيطر عليه هو الضغط الجوي . يركب عادة على السطح على قاعدة معدنية مناسبة ، وهو عبارة عن خزان معدني ذي سعة وسماكة مناسبة يعزل بطبقة من الصوف الزجاجي لا تقل عن $2,5\,cm$ ، ويغلف بطبقة من الصاج المغلفن لحماية العازل من الظروف الجوية الخارجية ، وبالأخص الماء .

يزود خزان التمدد المفتوح ، الشكل (6-22) بفتحة لأنبوب الأمان الصاعد ، وأخرى لأنبوب الأمان الهابط ، وبفتحة تهوية وفضّال ، وفتحة تغذية بماء الشبكة الرئيسية ، ويزود بمؤشر سوية .

عملياً ، بالإضافة إلى خزان التمدد ، يعزل أنبوب الأمان الصاعد والهابط بالطريقة السابقة نفسها .



الشكل (4-12) خزان التمدد المفتوح وملحقاته

1- أنبوب أمان صاعد ، 2- أنبوب أمان هابط ، 3- أنبوب تغذية 4- أنبوب تهوية ، 5- أنبوب فضال ، 6- أنبوب مراقبة

تحدد سعة خزان التمدد المفتوح بالعلاقة التقريبية الآتية :

$$V[Lit] = 1.3 \times Qb[kW] \qquad (6.23)$$

ويحدد مقطع أنبوب الأمان الصاعد بالعلاقة :

$$d_1[mm] = 15 + \sqrt{2Q_b[kW]} \qquad mm \qquad (6.26)$$

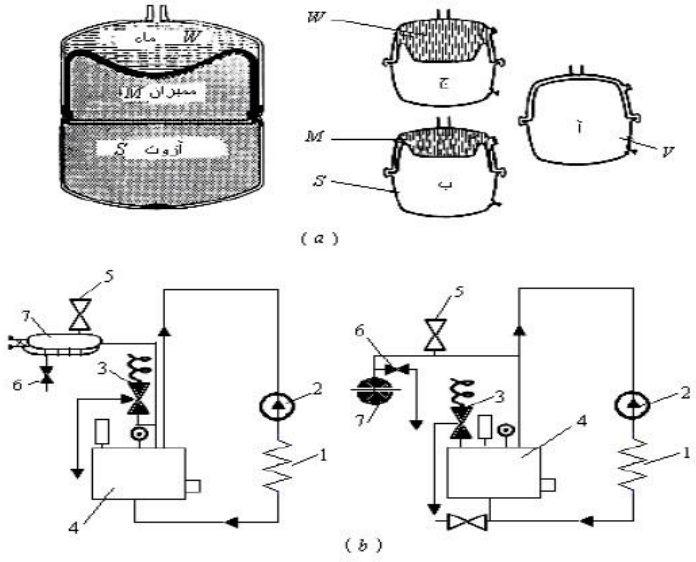
ويحدد مقطع أنبوب الأمان الهابط بالعلاقة :

$$d_2[mm] = 15 + \sqrt{0.9Q_b[kW]} \qquad (6.27)$$

ب- خزان تمدد مغلق :

يستخدم خزان التمدد المغلق في دارات التدفئة النغلقة (لا يوجد تماس مع الوسط المحيط) وهو عبارة عن خزان معدني أسطواني مغلق مؤلف من حجرتين يفصل بينهما غشاء ممبراني ، تعمل الحجرة الأولى على استيعاب حجم الماء الزائد نتيجة التسخين مما يؤدي لتقعر الغشاء الممبراني والضغط على الغاز الخامل الموجود في الحجرة الثانية والذي يمتاز بضغط محدد أعلى من الضغط الستاتيكي للماء في الشبكة بمقدار $0,5\ bar$ وأكثر ، والذي يتم فحصه وعياره بشكل دوري . ويستخدم هذا النوع من خزانات التمدد في بعض الأبنية الحديثة التي لا تسمح بمد أنابيب الأمان حسب الشروط الفنية ، وفي المناطق الباردة التي يتعرض فيها الماء للتجمد . والشكل (4-13) يبين شكل الخزان ومكان تركيبه في الشبكة .

يركب هذا الخزان في غرفة المراجل على أنبوب التغذية أو العودة بشكل شاقولي ، ويزود بصمام تعبئة للغاز وبصمام أمان يعمل عند ارتفاع الضغط في الشبكة عن الحد القيمة التصميمية كما أنه لا يحتوي على خط أمان صاعد أو هابط .



الشكل (4-13)

a- خزان تمدد مغلق b- كيفية ربط خزان التمدد المغلق بالشبكة: 1- مشعات ، 2- مضخة ، 3- صمام أمان ، 4- مرجل ، 5- صمام تنفيس ، 6- صمام تفريغ ، 7- وعاء تمدد مغلق

يحدد الحجم الكلي لخزان التمدد المغلق من العلاقة الآتية :

$$V = V_a \frac{P_e + 1}{P_e - P_o} \qquad lit \qquad (6.29)$$

حيث: Pe(bar): الضغط النهائي في الدارة، Po(bar): الضغط الجوي

Va(lit): مقدار الزيادة في حجم الماء.

$$P_e = P_{sv} - 0.5$$

Psv: ضغط المعايرة لصمام الأمان.

$$V_a = V_A \frac{n+1}{100}$$

حيث V_A : حجم الماء في الشبكة ؛ $[lit]$.

n : النسبة المئوية لزيادة حجم الماء بحسب درجة حرارة التشغيل. ويمكن أن تحدد من الجدول 19

6-9-5-حساب اسطوانة الماء الساخن

لتحديد استطاعة المرجل في حال الحاجة لتسخين الماء الصحي بواسطة المرجل يجب إضافة الحمل الحراري اللازم لاسطوانة الماء الساخن إلى حمل الضياعات الحرارية وتصبح العلاقة التي تعطي استطاعة المرجل على الشكل التالي:

$$Q_b = (Q_{tot} + Q_W) \times (1 + a + b)$$

حيث: Q_W حمل اسطوانة الماء الساخن.

ويتم حساب الحمل الحراري للأسطوانة من العلاقة الآتية :

$$Q_W = m.C_p.\Delta T \qquad kW$$

حيث : m : تدفق الماء أو كمية الماء المستهلك ؛ $[lit/s]$.

C_p : السعة الحرارية النوعية للماء ، وتساوي $4,2\ kJ/kg.K$.

$\Delta T = t_2 - t_1$: درجتا حرارة دخول وخروج الماء إلى الأسطوانة على التوالي .

ملاحظة هامة : عند استهلاك الشخص مثلاً $(50\ lit/day)$ ، وأثناء الحساب ، تحسب مثلاً $(50\ l/h)$ ، لأن الشخص يستهلك هذه الكمية في يوم كامل، لكن في زمن مقداره لا يتجاوز ساعة واحدة .

يحدد استهلاك الماء الساخن من الجدول (7-1) .

الجدول (7-1) استهلاك الماء الساخن للشخص الواحد

وظيفة المبنى	الاستهلاك للشخص الواحد $[lit/s]$	
	في اليوم	في الساعة (عند الذروة)
أبنية سكنية	30 – 70	25 – 45
فنادق	150 – 160	30 – 50
مكاتب	10 – 20	5
مطاعم	15 – 40	5
محلات	10 – 30	5
مشافي	80 – 275	25 – 50 5
دورات مياه	15 – 25	5 – 25
مدارس	15 – 140	

6-7 الضياعات الهيدروليكية في شبكة التدفئة المركزية بالماء الساخن :

يتعرض جريان الماء ضمن الأنابيب وتجهيزات التدفئة إلى هبوط في الضغط ΔP بسب نوعين من الضياعات هما :

1- **ضياعات خطية** ناجمة عن الاحتكاك في الأنابيب الناقلة للماء وتتعلق بطول الأنبوب وبدرجة خشونة السطح الداخلي. وتقدر قيمة عامل الضياع الخطي R بواحدة Pa/m من الجداول وبعد تحديد قيمة R تضرب بطول القسم المدروس لنحصل على الضياع الطولي للجزء المدروس.

2- **ضياعات موضعية/Z/** : بسبب تغير اتجاه أو سرعة جريان الماء في المقاومات الخاصة (نقاصات – سكورة – تفريات ... P_{h_2}).

ويعبر عما سبق رياضياً بالعلاقة:

$$\Delta P_{tot} = \Delta P_1 + \Delta P_2$$

$$\Delta P_1 = R.L \qquad Pa$$

$$Z = \Delta P_2 = \zeta \ \frac{w^2.\rho}{2} \qquad Pa$$

علماً أن : R : معامل الضياع الخطي .

L : طول الأنبوب المدروس ؛ $[m]$.

d : قطر الأنبوب المدروس ؛ $[m]$.

w : سرعة الماء في الجزء المدروس ؛ $[m/s]$.

ρ : كثافة الماء ؛ $[kg/m^3]$.

ζ : معامل الضياعات الموضعية (المقاومات الخاصة) .

Z : هبوط الضغط الكلي في المقاومات الخاصة ؛ $[mm\,H_2O]$ أو Pa/m .

بالتعويض في العلاقة نحصل على هبوط الضغط الكلي :

$$\Delta P_{tot} = \Sigma R.L + \Sigma Z$$

6-8 تصميم شبكة التدفئة ذات الجريان القسري :

المقصود بتصميم شبكة التدفئة المركزية بالماء الساخن ذات الجريان القسري ، تلك الشبكة التي تتضمن مضخة تسريع لتسريع الجريان في الشبكة وذلك لتأمين الاستجابة الحرارية السريعة. ويتضمن التصميم:

- تحديد مقاطع أنابيب الشبكة
- وهبوط الضغط فيها
- وسرعة جريان الماء

- لتحديد ضاغط المضخة الذي يضمن إيصال الماء في الشبكة إلى أسوأ نقطة ، وهي دارة أعلى وأبعد مشع .

مراحل التصميم :

أولاً: حساب الضياعات الخطية R:

1- نرقم الشبكة وذلك بإعطاء رقم لكل جزء من أجزاء الشبكة ونضع في البسط حمل الجزء المدروس مضافاً إليه 20% عامل أمان.

2- نحدد الدارة الأسوأ (وهي دارة المشع الأخطر أي الأبعد عن المرجل أفقياً وشاقولياً).

3- تحدد التدفق في كل جزء من أجزاء الدارة m.

4- نحدد طول كل جزء من أجزاء الدارة الأسوأ (من المخطط) L .

5- نحدد من الجدول (21) أو (22) قطر مقطع الجزء المدروس(d) وفق حمله الحراري وهبوط الضغط النوعي (R) وسرعة جريان الماء فيه w .

6- ندول النتائج في الجدول.

ملاحظة: عند تحديد قيمة R نفترض الحد الأعظمي لقيمة معامل الضياعات الخطية R=100 أي R≤100 تكون قيمتها مقبولة وإلا ننتقل للقطر ذو القياس الأكبر .

ثانياً: حساب الضياعات الموضعية $\sum Z$:

7- نحدد من الجدول (23) $\Sigma\zeta$ بحسب نوع المقاومة الخاصة ، ونحدد قيمة السرعة w من البند (5) .

8- نحسب $RL + Z$ لكل جزء .

9- نحسب $\Sigma(RL + Z)$ لدارة أسوأ مشع ، ونضرب الناتج بـ 2 (للذهاب والإياب).

10- نحسب ضاغط المضخة P_m ، حيث

$$P_m \geq 1{,}1\ P_h \qquad (6.15)$$

6-9-6 الأنابيب وملحقاتها :

يتم وصل المراجل بسطوح التسخين (المشعات) بوساطة شبكة من الأنابيب الفولاذية التي يمكن أن تكون :

- غازية (ذات سن وفيها $d \leq 2''$) .
- مسحوبة (من دون سن ، تلحم بالقوس الكهربائي $d > 2''$) .

يجب أن تحقق الأنابيب المواصفات الدولية العالمية من حيث نقاء المعدن ونعومته ووزنه وسماكة مقطعه وانحناؤه وشدّه ... أو المواصفات الألمانية . يتم وصل الأنابيب ببعضها بوساطة اللحام أو عن طريق قطع ، وصل ، وأكواع ، وتفريعات ... بينما مع التجهيزات (مثل المرجل والأسطوانة والمجمعات وأجهزة التحكم والحماية ...) عن طريق التعشيق بالأسنان أو بالفلنجات .

تعطى الأنابيب أثناء التنفيذ ميلاً صاعداً نحو الأعلى بمعدل $0{,}003mm$ حتى يتم تنفيس الشبكة من نفاثات الدفايات ومن خزان التمدد في الأعلى .

عند تنفيذ شبكة الأنابيب ، يجب أن تبقى المسافة الفاصلة بين خطي الذهاب والإياب ثابتة (المحافظة على التوازي) ، ويجب أن تثبت الأنابيب بشكل جيد على الجدران ، وأن تجرب قبل عزلها أو طمرها وذلك بضغطها حتى $8kg/cm^2$ لمدة 24 ساعة حتى لا يحصل أي تسرب للماء ، وبالتالي إضرار في البناء (دهان – ليسة – حديد ...) .

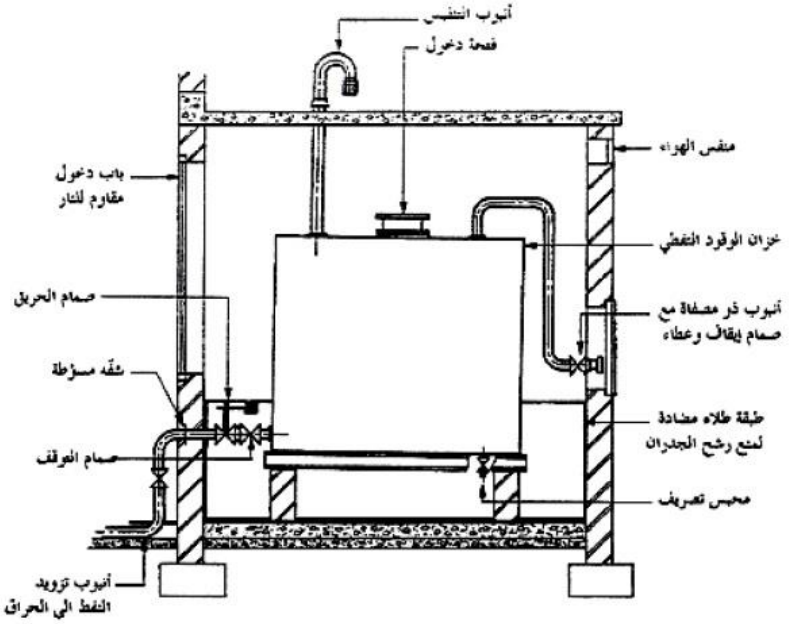
تزود شبكة الأنابيب في الأبنية الضخمة بمجمع ذهاب ومجمع عودة ، وبموازين حرارة وضغط ، وسكر حجز وعيار تدفق ، ونفاثات يدوية أو آلية وصمامات تفريغ أو تعبئة .

6-9-7 الاستهلاك السنوي وخزانات الوقود :

يحدد الاستهلاك السنوي للوقود لأي دارة تدفئة من العلاقة الآتية :

$$W_{year} = \frac{24.Q_b.N.F.C}{\eta_b.H_v} \qquad Kg$$

يتم تخزين الوقود السائل في خزانات خاصة تؤمن عدم تلوث البيئة والحماية من الحريق حتى $5\ m^3$ ، حيث يتم تخزينهم في غرفة خاصة قريبة من غرفة المراجل يفصل بينها جدار أسمنتي أو قرميدي ومجهزة بمواد مقاومة للحريق وتحتوي على حوض كتيم يتسع لكامل كمية الوقود في حال تسربه من الخزان ، لذلك تعالج الأرضية والجدران السفلية بطبقة من مانع تسرب (الإيبوكسي) ، ويجب ألا تكون على اتصال مع شبكة الصرف الصحي ، ويفضل أن تكون الغرفة مستقلة وأبوابها مصنعة من مواد مقاومة للحريق ، الشكل (6-27) .



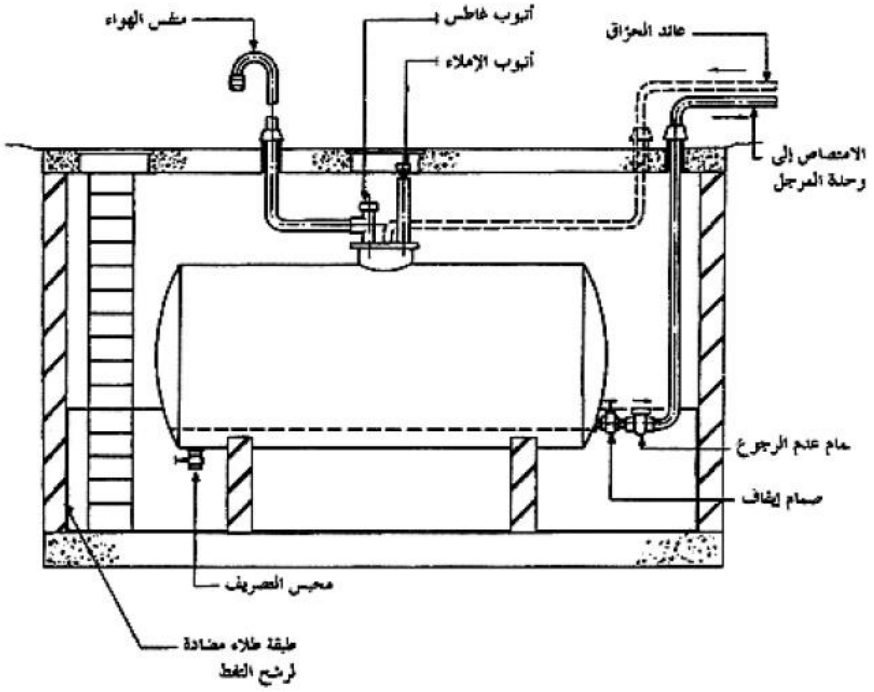
الشكل (6-27) خزان وقود مجاور لغرفة المراجل

ومن أجل كميات أكبر من الوقود يتم تخزينهم في خزانات أسطوانية تحت الأرض أو ضمن غرفة خاصة خارج المبنى المدفأ ، الأشكال (6–28) ، و (6–29) .

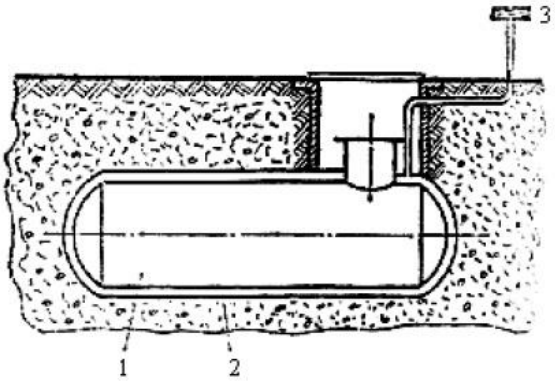
عندما يكون خزان الوقود خارج المبنى يفضل تركيب خزان وقود يومي سعته $1-2\,m^3$ ، يملأ يومياً بوساطة مضخة يدوية أو آلية حسب الحاجة ويتصل خزان الوقود اليومي بالحراقات بوساطة أنبوب نحاسي أو فولاذي ، ويمكن أنبوبين ذاهب وراجع حسب منسوب الخزان .

يتم تسليم الوقود بوساطة الصهاريج ، وهذا يتطلب معمارياً إمكانية اصطفاف الصهريج بجوار فوهة الملء بالخزان . وتطلب دوائر إطفاء الحريق وشركات التأمين بعدم ملْ الخزانات بسعتها الكاملة خوفاً من التجمد وتسرب الوقود وإمكانية حصول حريق .

تصنع خزانات الوقود من الفولاذ الملحوم ، ويمكن أن تكون أسطوانية أو مستطيلة ، وفي كلتا الحالتين تتوضع على جوائز بيتونية أفقية يفصل بينها حمالات فولاذية، يزود سطحها الملامس للخزان بفرشة من اللباد الإسفلتي أو حشوة قصديرية . تعطى الخزانات ميلاً بحيث يمكن أن تسحب الشوائب والماء المترسب من نقطة منخفضة مناسبة .



الشكل (6–28) خزان وقود سائل تحت الأرض في غرفة خاصة

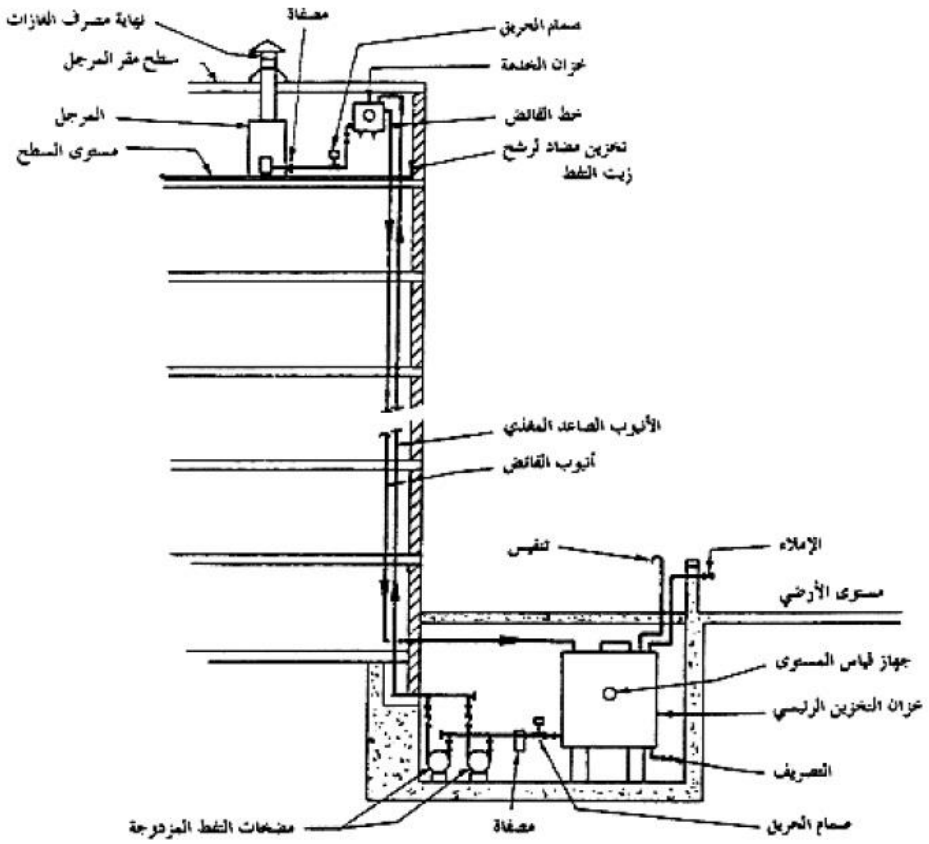


الشكل (6–29) خزان وقود سائل تحت التراب

1– خزان 2– كوجوخ قميص مملوء بسائل مضغوط ويتصل بصفارة إنذار 3– خزان تمدد متصل بصفارة إنذار

من أجل الاستخدامات المنزلية تم مؤخراً تصنيع خزانات وقود سائل من البولي إيتلين متوسط الكثافة .

وفي حال تركيب غرفة المراجل على سطح البناء ، يبقى الخزان الرئيسي عند مستوي الأرض ، ويتم ضخ الوقود منه إلى خزان وقود يومي يوضع في أو قربها ، غرفة المراجل ، والشكل (6–30) يوضح ذلك .



الشكل (6–30) التغذية بالنفط إلى غرفة مراجل على سطح بناء متعدد الطوابق

مثال (6) : شقة سكنية في سورية يقطنها ستة أشخاص ، يلزمها تدفئة وماء ساخن للاستخدام الصحي ، احسب :

1- استطاعة المرجل اللازم إذا كانت الضياعات الحرارية الإجمالية للشقة $25000W$ والشبكة مكشوفة والتدفئة متقطعة .

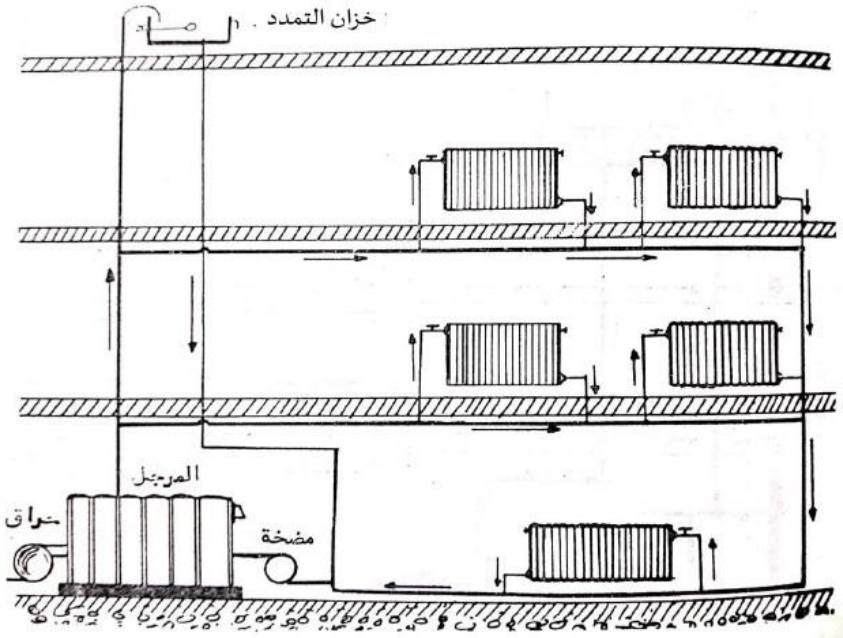
2- أبعاد المدخنة اللازمة إذا كان السحب اللازم للمرجل $Z=10Pa$ ، والضغط الجوي $950mbar$.

3- حجم خزان التمدد اللازم ، وأبعاد أنابيب الأمان الصاعد والهابط .

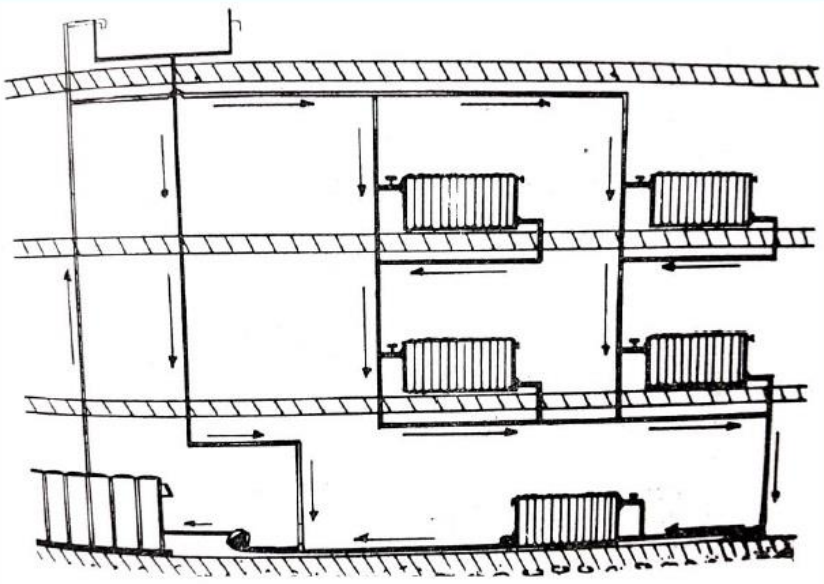
4- الاستهلاك السنوي للوقود .

أنظمة التدفئة بالماء الساخن

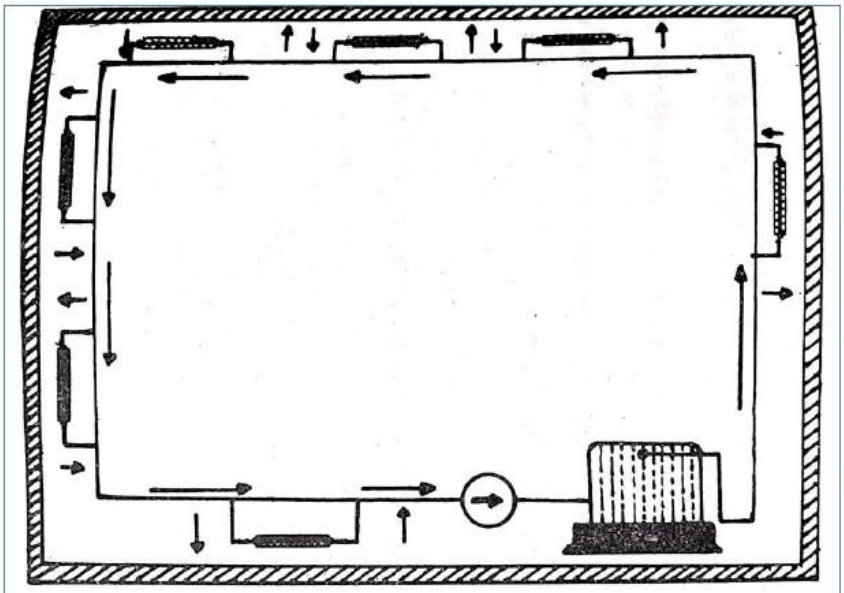
1- أنظمة الشبكة المفردة



نظام التوزيع ذو الشبكة المفردة ذو التغذية إلى الأعلى



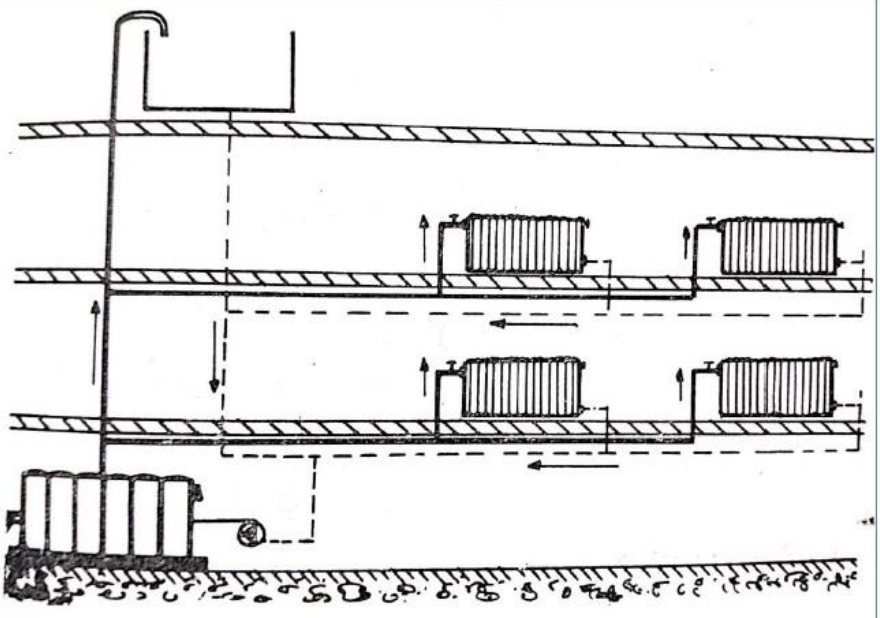
نظام التوزيع ذو الشبكة المفردة ذو التغذية إلى الأسفل



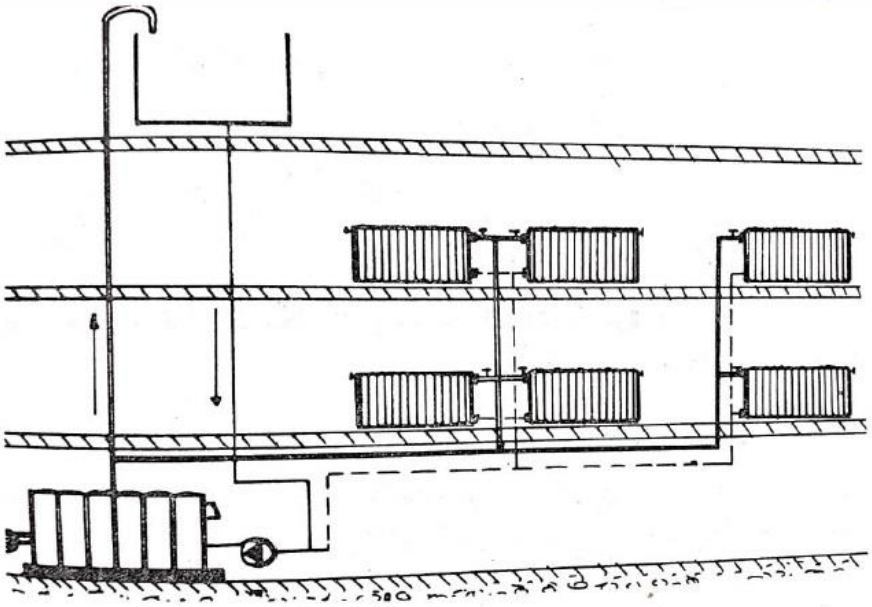
نظام التوزيع ذو الشبكة المفردة لمنزل مكون من طابق واحد

2- أنظمة الشبكة المزدوجة

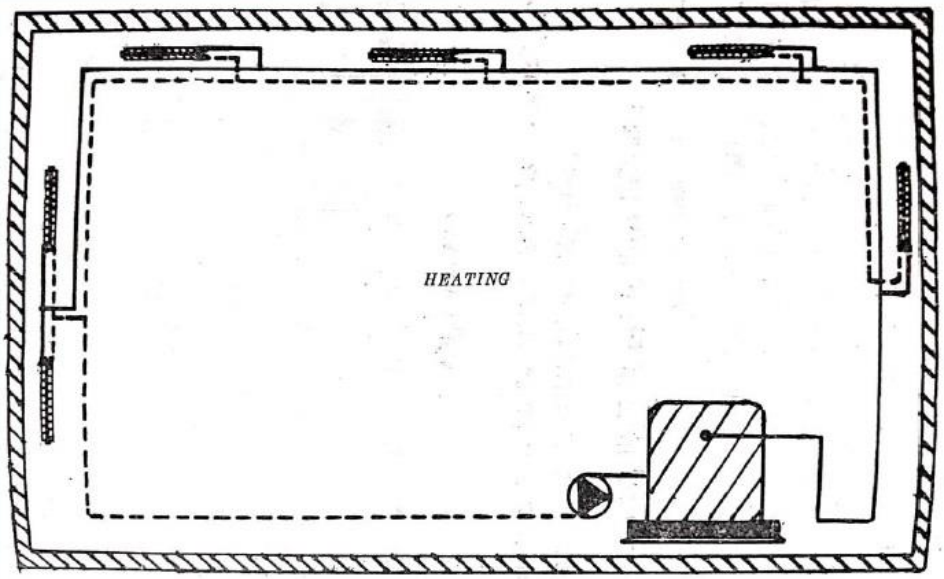
2-1 أنظمة الشبكة المزدوجة و العودة المباشرة



نظام تدفئة بالماء الساخن ذي الشبكة المزدوجة و العودة المباشرة و التغذية للأعلى

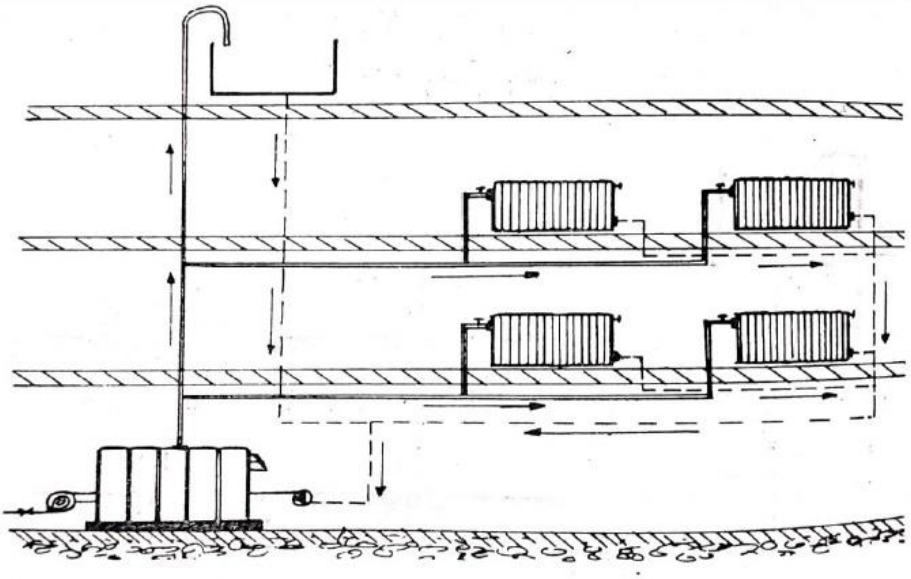


نظام تدفئة بالماء الساخن ذي الشبكة المزدوجة و العودة المباشرة و التغذية للأعلى

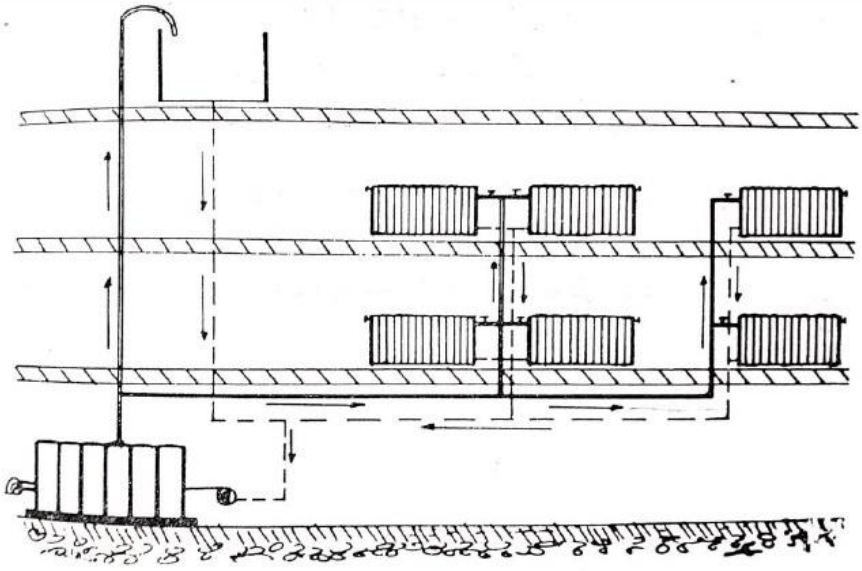


نظام الشبكة المزدوجة ذو العودة المباشرة لمنزل مكون من طابق واحد

2-2 أنظمة الشبكة المزدوجة ذو العودة المعكوسة



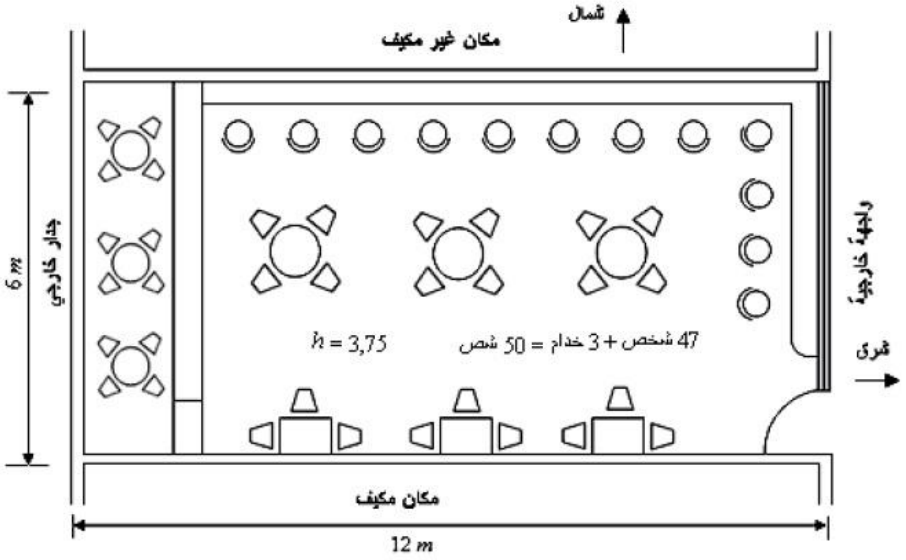
نظام تدفئة بالماء الساخن ذي الشبكة المزدوجة ذو العودة المعكوسة و التغذية للأعلى



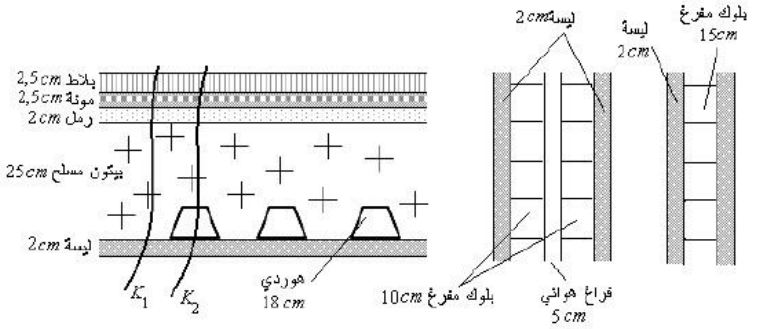
نظام تدفئة بالماء الساخن ذي الشبكة المزدوجة ذو العودة المعكوسة و التغذية للأعلى

مثال (1) : احسب حمل التدفئة الشتوي لصالة مطعم في حمص .

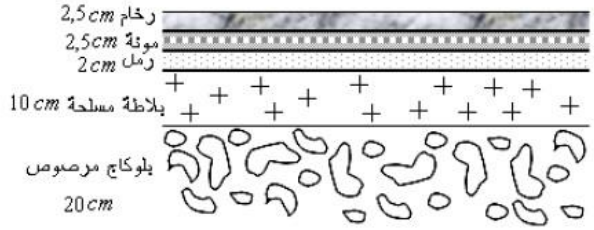
أبعاده $12\times6\times3,75m$ ، يتسع لخمسين شخصاً ، فيه واجهة زجاجية واحدة على الجدار الشرقي أبعادها $4\times2.5m$ ذات زجاج عادي مفرد، وباب خشبي أبعاده $1,2\times2,5m$ ، الشكل (1) . علماً أن الأرضية تقع على أرض طبيعية ، والسقف مكشوف (أخير) ، وتفصيلة الجدران موضحة على الشكل (2) .



الشكل (1) مسقط أفقي لصالة المطعم



(آ) (ب) (ج)



(د)

الشكل (2)

(آ) تفصيلة الجدران الداخلية ، (ب) : تفصيلة الجدران الخارجية . (ج) : تفصيلة السقف ، (د) : تفصيلةالأرضية .

الحل :

1- نحسب K عامل النفوذ الحراري لحواجز البناء :

آ- للجدران الداخلية :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \Sigma \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o}} =$$

$$= \frac{1}{0{,}123 + 2\,\frac{0{,}02}{1{,}39} + \frac{0{,}15}{0{,}7} + 0{,}03} = 2{,}53 \quad \frac{W}{m^2.C^o}$$

ب- للجدران الخارجية :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \Sigma \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{C_a} + \frac{1}{\alpha_o}} =$$

$$K = \frac{1}{0{,}123 + 2\,\frac{0{,}02}{1{,}39} + 2\,\frac{0{,}10}{0{,}7} + 0{,}17 + 0{,}03} = 1{,}57 \quad \frac{W}{m^2.C^o}$$

ج- للسقف :

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \Sigma \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o}} =$$

$$= \frac{1}{0{,}106 + \frac{0{,}025}{1{,}39} + \frac{0{,}025}{1{,}39} + \frac{0{,}02}{0{,}35} + \frac{0{,}25}{1{,}74} + \frac{0{,}02}{1{,}39} + 0{,}03} = 2{,}6 \quad \frac{W}{m^2.C^o}$$

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \Sigma \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o}} =$$

$$= \frac{1}{0{,}106 + \frac{0{,}025}{1{,}39} + \frac{0{,}025}{1{,}39} + \frac{0{,}02}{0{,}35} + \frac{0{,}07}{1{,}74} + \frac{0{,}18}{1{,}7} + \frac{0{,}02}{1{,}39} + 0{,}03} = 1{,}8 \quad \frac{W}{m^2.C^o}$$

$$K = \frac{2K_1 + K_2}{3} = \frac{2 \times 2{,}6 + 1{,}8}{3} = 2{,}34 \ \text{W/m}^2.^\circ\text{C}$$

ج- للأرضية :

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \Sigma \frac{\delta}{\lambda}} =$$

$$= \frac{1}{0{,}15 + \frac{0{,}025}{1{,}79} + \frac{0{,}025}{1{,}39} + \frac{0{,}02}{0{,}35} + \frac{0{,}1}{1{,}74} + \frac{0{,}2}{1{,}74}} = 1{,}86 \quad \frac{W}{m^2.C^o}$$

2- نحسب ضياعات النفوذ الحراري Q_o :

آ- عبر الجدار الداخلي الشمالي (عبر الجدار الداخلي الجنوبي لا يوجد ضياع حراري) :

$$Q = K.A.\Delta t = 2{,}53 \times 12 \times 3{,}75 \times (20-2) = 2050 \quad W$$

ملاحظة: درجة حرارة المكان غير المدفأ أكبر من درجة حرارة الوسط الخارجي بحدود $5-7\ C^o$.

من الجدول (5) : $t_o = -3C^o \Rightarrow t = -3+5 = 2\ C^o$ (حمص)

من الجدول (6) : $t_i = 20\ C^o$

ب- عبر الجدار الخارجي الغربي :

$$Q = K.A.\Delta t = 1{,}57 \times 6 \times 3{,}75 \times (20+3) = 812 \quad W$$

ج- عبر الجدار الخارجي الشرقي : فيه نافذة وباب وجدار خارجي

- عبر النافذة (ألمنيوم وزجاج مفرد) :

$$Q_1 = K.A.\Delta t = 5{,}6 \times 4 \times 2{,}5 \times (20+3) = 1288 \quad W$$

- عبر الباب (خشبي) :

$$Q_2 = K.A.\Delta t = 2{,}4 \times 2{,}5 \times 1{,}5 \times (20+3) = 207 \quad W$$

- عبر باقي الجدار :

$$Q_3 = K.A.\Delta t = 1{,}57\,[6 \times 3{,}75 - (2{,}5 \times 1{,}5 + 4 \times 2{,}5)] \times (20+3) = 316 \quad W$$

و منه عبر كامل الجدار الشرقي:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 1288 + 207 + 316 = 1840 \quad W$$

د- عبر السقف :

$$Q = K.A.\Delta t = 2{,}34 \times 12 \times 6 \times (20+3) = 3875 \quad W$$

هـ- عبر الأرضية :

$$Q = K.A.\Delta t = 1{,}86 \times 12 \times 6 \times (20-10) = 1340 \quad W$$

(حيث درجة حرارة الأرض الطبيعية $10\ C^o$ ثابت)

ومنه ضياعات النفوذ الحراري:

$$Q_o = \Sigma Q = 812 + 2050 + 1811 + 3875 + 1340 = 9888\ W$$

3- نحسب إضافات التدفئة :

- نوقف التدفئة والسطوح الخارجية Z_D :

$$K_D = \frac{Q_o}{F_{tot}(t_i - t_o)} = \frac{9888}{((12\times6\times2)+2(6+12))\times3,75\times(20+3)} = 1,54 \quad \frac{W}{m^2.C^o}$$

من الجدول (9) $\Leftarrow$ Z_D=6% على اعتبار أن التدفئة مستمرة

- عامل الجهة Z_S :

بما أن المبنى على جهتين (شرق وغرب) $\Leftarrow$ Z_S = 5 %

- عامل الارتفاع Z_h :

بما أن ارتفاع المطعم $h = 3,75 < 5 \Rightarrow Z_h = 0$

$$Q_z = Q_o(0,06+0,05) = 1088 \quad W$$

4- نحسب ضياعات التسرب والتهوية :

باعتبار المطعم صالة كبيرة وتحتوي على 50 شخص ، تطبق العلاقة الآتية :

$$Q_u = 0,35.v.(t_i - t_o)$$

$$v = n \cdot m$$

حيث m تحدد من الجدول (12) .

$$m = 6.7 \ l/s$$

$$v = 6.7 \frac{3600}{1000} = 1206 \quad m^3/h$$

$$Q_u = 0,35\times1206\times(20+3) = 9710 \quad W$$

5- نحسب حمل التجهيزات الكهربائية :

$$Q_{el} = Q_{el_1} + Q_{el_2}$$

من الجدول (13) للمطاعم ، شدة الإضاءة $17 \ W/m^2$

$$Q_{el_1} = 17\times(6\times12) = 1224 \quad W$$

لا يوجد تجهيزات كهربائية أخرى ، أي : $Q_{el_2} = 0$

6- نحسب حمل الأشخاص Q_x :

$$Q_x = n.q = 50\times162 = 8100 \quad W$$

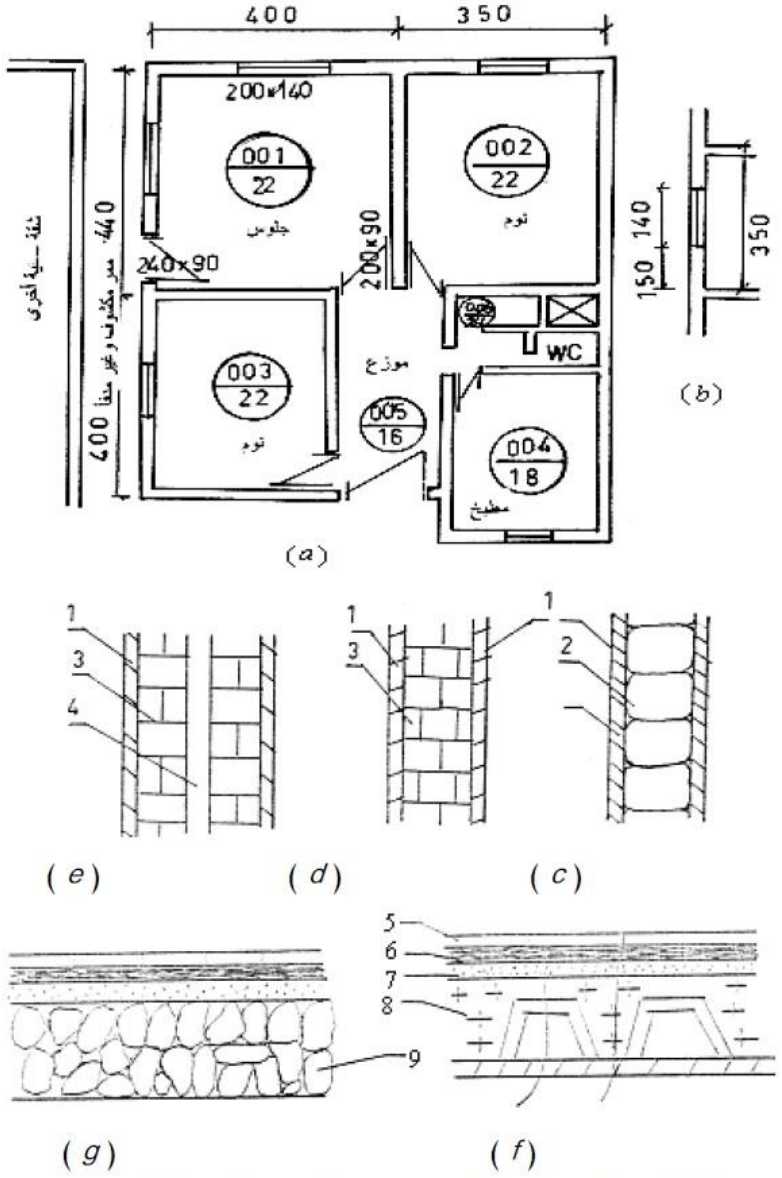
نحدد q من الجدول (17) $\Leftarrow$ q = 162 W/per

7- الحمل الإجمالي :

$$\Sigma Q = Q_{tot} - (Q_{el} + Q_x)$$
$$= 9888+1088+9710-(1224+8100) = 11362 \ W$$

مثال (1) – يبين كيفية حساب الضياعات الحرارية :

احسب الضياعات الحرارية لشقة سكنية أرضية في مبنى مؤلف من ثلاث طوابق في مدينة حمص . مسقط الشقة والمقاطع العرضية في الجدران والسقف والأرضية مبينة على الشكل .



a– مسقط أفقي ، b– مقطع شاقولي ، c– مقطع في الجدار الخارجي (الواجهة) ،

d– مقطع في الجدار الداخلي ، e– مقطع في الجدار الخارجي (الغربي) ،

f– مقطع في السقف ، g– مقطع في الأرضية .

1– ليسة أسمنتية ، 2– حجر بازلتي ، 3– بلوك أسمنتي مفرغ ، 4– فراغ هوائي ،

5– بلاط ، 6– مونة ، 7– رمل ناشف ، 8– بيتون مسلح ، 9– بلوكاج ، 10– هوردي

النوافذ خشبية ذات زجاج مفرد عادي ، والأبواب خشب عادي مع العلم أن الخارجي من دون زجاج . والطابق الذي يليه مدفأ تدفئة عادية . المبنى يقع في مكان مأهول بالسكان ، والبناء على شكل صفوف (حي العدوية) ، سرعة الرياح أصغر من ($4\,m/s$) ، التدفئة متقطعة والشبكة غير معزولة .

الحل :

1- نوجد عوامل التوصيل الحراري لطبقات الحواجز السابقة من الجدول (3-4) و (3-9)، فنجد :

$$\lambda_1 = 1{,}16 \;;\; \lambda_2 = 3{,}48 \;;\; \lambda_3 = 1{,}6 \;;\; \lambda_4 = 1{,}16 \;;\; \lambda_5 = 0{,}7$$

$$\lambda_6 = 1{,}16 \;;\; \lambda_7 = 1{,}4 \;;\; \lambda_8 = 1{,}4 \;;\; \lambda_9 = 0{,}35 \;;\; \lambda_{10} = 1{,}74$$

$$\lambda_{11} = 0{,}7 \;;\; \lambda_{12} = 1{,}16 \;;\; \lambda_{16} = 1{,}74 \qquad \frac{W}{m.C^o}$$

2- نوجد عوامل النفوذ الحراري للحواجز :

للجدار الخارجي (الشمالي) :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \Sigma \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o}}$$

نوجد من الجدول (3-2) عوامل التوصيل السطحي الداخلي والخارجي :

- للجدران $\alpha_i = 3{,}35\ W/m^2.C^o$ و $\alpha_o = 33{,}64\ W/m^2.C^o$

- للسقف $\alpha_i = 9{,}28\ W/m^2.C^o$ و $\alpha_o = 9{,}28\ W/m^2.C^o$

- للأرضية : $\alpha_i = 6{,}15\ W/m^2.C^o$

نوجد من الجدول (3-3) توصيل الفراغ الهوائي للجدار الغربي $Ca = 5$.

- للجدار الخارجي الشمالي :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{8{,}35} + \frac{0{,}02}{1{,}16} + \frac{0{,}30}{3{,}48} + \frac{0{,}02}{1{,}16} + \frac{1}{33{,}64}} = 3{,}7 \qquad \frac{W}{m^2.C^o}$$

- للجدار الداخلي :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{8{,}35} + \frac{0{,}02}{1{,}16} + \frac{0{,}1}{0{,}7} + \frac{0{,}02}{1{,}16} + \frac{1}{8{,}35}} = 2{,}394 \qquad \frac{W}{m^2.C^o}$$

- للجدار الخارجي الغربي :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{8{,}35} + \frac{0{,}02}{1{,}16} + \frac{0{,}1}{6{,}96} + \frac{1}{5} + \frac{1{,}1}{0{,}7} + \frac{0{,}02}{1} - \frac{1}{33{,}64}} = 1{,}55 \qquad \frac{W}{m^2.C^o}$$

- للسقف :

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{9{,}28} + \frac{0{,}02}{1{,}16} + \frac{0{,}02}{1{,}4} + \frac{0{,}02}{0{,}35} + \frac{0{,}09}{1{,}74} + \frac{0{,}18}{1{,}16} + \frac{0{,}02}{1} + \frac{1}{9{,}28}} = 1{,}9 \qquad \frac{W}{m^2.C^o}$$

- للسقف :

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{9,28}+\frac{0,02}{1,4}+\frac{0,02}{1,4}+\frac{0,02}{0,35}+\frac{0,27}{1,74}+\frac{0,02}{1}+\frac{1}{9,28}} = 2,11 \quad \frac{W}{m^2.C^o}$$

- للسقف :

$$K_{eK} = \frac{2K_2 + K_1}{3} = \frac{1,9 + 2,11}{3} = 2,04 \quad \frac{W}{m^2.C^o}$$

- للأرضية :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{5,3}+\frac{0,02}{1,4}+\frac{0,02}{1,4}+\frac{0,02}{0,35}+\frac{0,15}{1,74}} = 2,98 \quad \frac{W}{m^2.C^o}$$

3- نوجد (K) للنوافذ والأبواب من الجدول (3-7) و (3-8):

- الباب الخارجي خشبي من دون زجاج : $K = 2,44 \ \ W/m^2.C^o$

- الباب الداخلي: $K = 1,7 \ \ W/m^2.C^o$

- النوافذ خارجية خشبية ذات زجاج عادي : $K = 5,8 \ \ W/m^2.C^o$

4- نوجد t_i و t_o من الجدولين (3-5) و (3-6) :

- جلوس $t_i = 22C^o \quad ; \quad t_o = 2C^o$

- نوم $t_i = 22C^o$

- ممر $t_i = 16C^o$

ممر غربي $t_i = -2C^o$

5- باعتبار درجة حرارة الطابق العلوي المدفأ تدفئة عادية:

$$t_i = 10C^o$$

6- تُعد درجة حرارة الأرض $10C^o$

7- نرتب النتائج السابقة والحسابات اللاحقة في جدول الضياعات الحرارية الذي تم شرحه سابقاً .

8- نحدد عدد مرات تغير الهواء من الجدول (3-14) $n = 2$

	رقم المبنى	1	1											
	رقم المكان المبنى	2	$\frac{001}{22}$											$\frac{002}{22}$
مواصفات الحاجز	رمز الجدار المدروس	3	$W_n.ex$	$W_c.ex$	$W_c.in$	$D_y.in$	$W_c.in$	$W_e.in$	$W_n.ex$	$D.ex$	$W_c.ex$	سقف	أرضية	$W_n.ex$
	اتجاهه	4	N	N	E	S	S	S	W	W	W	-	-	N
	أبعاده	5	2×1,4	3×3,5	لا يوجد	2×0,9	3,5×0,9	لا يوجد	1,4×1,5	2,4×0,9	4,4×4	4,4×4	4,4×4	-
	مساحته	6	2,8	14		1,8	3,15		2,1	2,16	17,6	17,6	17,6	-
	المساحة المطروحة	7	-	2,8		-	1,8		-	-	21+2,16	-	-	-
	المساحة المعتبرة	8	2,8	11,2		1,8	1,35		2,1	2,16	13,34	17 6	17,6	-
	عامل النفوذ الحراري	9	5	3,19		1,5	2,064		5	2,1	1,34	1,7	2,57	-
	فرق درجات الحرارة	10	24	24		6	6		24	24	24	12	12	-
	الضياعات النظرية لكل حاجز	11	390	394		18,56	17,77		292	126	498	416	630	-
	الضياعات النظرية الإجمالية	12	4545											-
إضافات [illegible]	عامل الاتجاه	13	10											-
	عامل انتقال الحرارة الوسطي الإجمالي	14	$D = \frac{2819}{F_W \Delta t (4+4,4) 2\times 3,5\times 17,6\times 2\times (22+2)} = 0,068$											-
	عامل السطوح الخارجية ومقطع التدفئة	15	30											-
	عامل الارتفاع	16	0											-
	عامل الضياعات الإجمالي	17	40											-
	الضياعات الفعلية	18	$Q_P = 3918(1+0,4) = 4545$											-
	حجم البناء	19	$4\times 4,4\times 3,5 = 61,6 \ m^3$											-
	عامل تسرب الهواء	20	2											-
	ضياعات التسرب	21	$Q = 0,31\times 2 + 61,6\times 24 = 1064$											-
	الضياعات الحرارية الإجمالية	22	5800											-