

# أساسيات تقنية تكييف الهواء

## حساب أحمال التبريد والتدفئة

**الجدارة: حساب أحمال التبريد وأحمال التدفئة.**

### **الأهداف:**

**عندما تكمل هذه الوحدة تكون قادرا على:**

- معرفة مصادر الكسب الحراري في المباني.
- حساب الكسب الحراري من خلال الجدران والأرضيات والأسقف.
- حساب الكسب الحراري من الإشعاع الشمسي.
- حساب الكسب الحراري نتيجة للأشخاص ، الإنارة ، الأجهزة والمعدات.
- حساب الكسب الحراري نتيجة للتهوية وتسرب الهواء.
- حساب الكسب الحراري المحسوس والكامن.

### **مستوى الأداء المطلوب:**

أن يصل المتدرب إلى الإتقان الكامل لهذه الجدارة وبنسبة ١٠٠٪.

### **الوقت المتوقع للتدريب:**

١٠ ساعات تدريبية.

## حساب أحمال التبريد والتدفئة

## Cooling &amp; heating loads calculation

## مقدمة

اكتساب وفقدان الحرارة لحيز التكييف يقصد به كمية الحرارة التي تدخل أو تخرج لحظيا من الحيز والحمل الحقيقي للحيز يعرف بأنه كمية الحرارة التي تضاف أو تفقد لحظيا بواسطة الحيز. وتنقسم الأحمال الحرارية في عمليات التكييف الى:

- أحمال تبريد: وذلك صيفا عندما تكون الأحمال الحرارية المختلفة تضيف أو تزيد من درجة حرارة المكان المراد تكييفه.

- أحمال تدفئة: وذلك شتاء عندما تعمل الأحمال الحرارية المختلفة على تقليل درجة حرارة المكان المراد تكييفه.

وتكون مصادر حمل التبريد تلك الأحمال على النحو التالي:

أ. أحمال خارجية External loads ومنها:

i - الحرارة المنقولة من الخارج إلى الداخل خلال الحوائط - السقف - الأرضية وذلك بالتوصيل الحراري ويطلق عليها باختصار حمل الحوائط Wall loads

ii - الحرارة المنقولة من الخارج والناجمة من تأثير الشمس Solar gains OR Sun Loads وتتكون من نوعين

- حرارة الإشعاع المباشر عن طريق النوافذ الزجاجية

- حرارة منقولة بالتوصيل الحراري عن طريق الجدران والأسقف المعرضة مباشرة لأشعة الشمس

iii - الحرارة المنقولة من الخارج إلى الداخل عن طريق التسرب Infiltration Load أو عن طريق هواء التهوية. Ventilation Load.

ب. أحمال داخلية Internal Loads ومنها:

- حرارة ناتجة عن الأشخاص

- حرارة ناتجة عن الإضاءة

- حرارة ناتجة عن المعدات الكهربائية أو الحرارية التي تتواجد داخل المكان.

كما يمكن تقسيم الأحمال الحرارية إلى أحمال محسوسة ( $Q_s$ ) Sensible Loads وأحمال

كامنة ( $Q_l$ ) Latent Loads

## حساب الأحمال الحرارية Thermal Loads Calculation

### المفاهيم الأساسية :

يمكن تقسيم الأحمال الحرارية لأي حيز مكيف على النحو التالي :-

- الكسب الحراري بسبب انتقال الحرارة بالتوصيل خلال الجدران والشبابيك  $Q_w$
- الكسب بالإشعاع الشمسي خلال زجاج الشبابيك وخلال الجدران  $Q_{rad}$ .
- الكسب الحراري الداخلي من الأشخاص والإنارة والمكائن وخلافه  $Q_i$
- الكسب الحراري نتيجة التهوية أو التسرب خلال الفتحات  $Q_v$
- مصادر حرارية أخرى  $Q_m$

عليه يمكن كتابة الأحمال الحرارية الكلية  $Q_T$  للحيز المكيف كما يلي:

$$Q_T = Q_{rad} + Q_i \pm Q_w \pm Q_v \pm Q_m$$

وفي حالة  $Q_T > 0$  تزداد درجة حرارة الحيز المكيف ( صيفاً )

في حالة  $Q_T < 0$  تنخفض درجة حرارة الحيز المكيف ( شتاء )

لحساب الأحمال الحرارية يلزم معرفة الآتي :-

#### أ - خصائص المبنى Building Characteristics

يجب معرفة خصائص مواد البناء للحيز وأبعاده ( يستحسن وجود رسم أو مخطط للمبنى ) وكذلك توضيح

الاتجاهات الأربع للمبنى building configuration

ب - معرفة البيانات الجوية للمنطقة ومنها يمكن تحديد بعض المتطلبات الأخرى كأحوال التصميم الخارجية ومعدل الإشعاع الشمسي .. الخ أيضاً يتطلب معرفة أحوال التصميم الداخلية حسب نوع واستعمال الحيز المكيف .

ج - مدة وزمن التواجد للأشخاص وكذلك فترة عمل الإضاءة مثلاً ( نظام البرمجة scheduling )

د - معلومات أخرى كاختيار نظام التكييف المناسب وخلافه .

#### أولاً : حساب أحمال التبريد : Cooling Load Calculations

الكسب الحراري للحيز : (Space Heat Gains) هو معدل انتقال الحرارة للحيز خلال فترة زمنية معينة (time interval).

حمل التبريد للحيز : (Space Cooling Load) هو معدل سحب الحرارة من خلال الحيز المكيف للحصول على ظروف تصميم داخلية ثابتة.

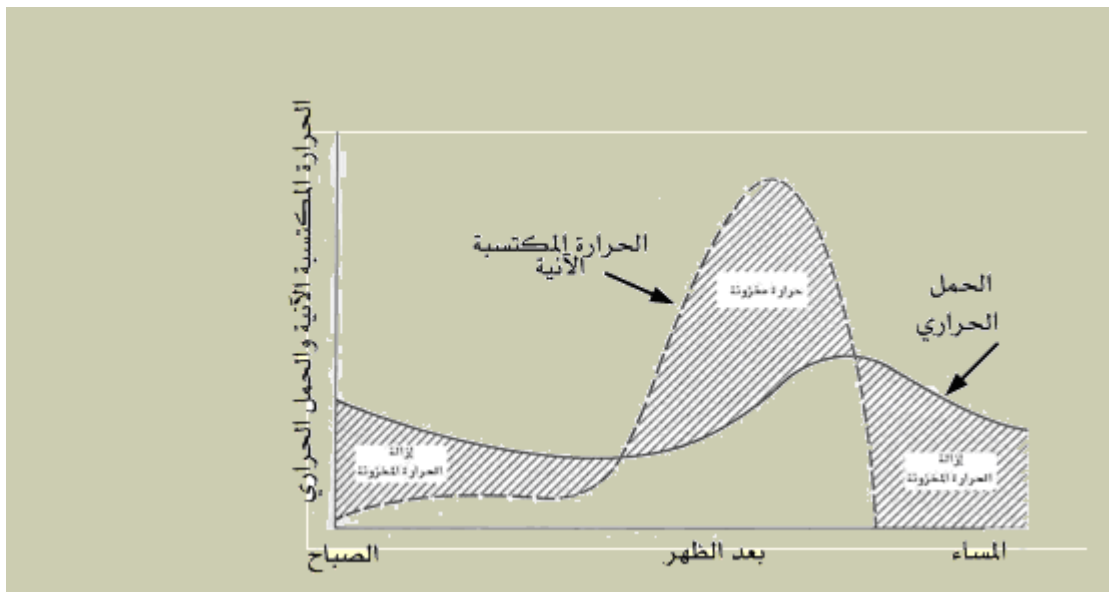
### ءمل التبريد للءيز: Space Cooling Load

يمكن تقسيم أءمال التبريد الخارجية إلى :-

#### أ. الكسب الحراري بسبب انتقال الحرارة بالتوصيل ءلال الجءران والأسقف ( $Q_w$ )

الحرارة المكسبة عبر الحائط أو الجءران هي عبارة عن مجموع الحرارة المنتقلة بصورة منتظمة (steady state) من الخارج إلى الداخل نتيجة لفرق درجات الحرارة بين الداخل والخارج (air-air temperature)، والحرارة المنتقلة بصورة غير منتظمة (unsteady state) نتيجة للاءتلاف في كمية الإشعاع الساقط على الجءران.

ظاهرة الانتقال غير المنتظم للحرارة عبر الجءران تعتبر عملية معقدة نسبة للكتلة الحرارية (thermal mass) للمبنى، ءيث يتم تخزين الطاقة الحرارية المارة عبر الجءران ثم تصريفها إلى الداخل أو الخارج في وقت لاحق وهذا يعتمد على قيمتي زمن التأءل ( $\Phi$ , time lag) ومعامل النقصان (decrement factor, f) مما يصعب عملية حساب الأءمال. تعمل الكتلة الحرارية أو ما يعرف بتأثير الخزن الحراري بواسطة مواد البناء على خفض الكسب الحراري الصافي وبالتالي خفض ءمل التبريد للءرفة. الشكل (٦ - ١) يوضح الفرق بين الكسب الحراري الآني (instantaneous heat gain) والذي يمثل الكسب الحراري الكلي (كمية الحرارة المنتقلة بصورة منتظمة + كمية الحرارة المنتقلة بصورة غير منتظمة نتيجة للكتلة الحرارية) وءمل التبريد للءرفة ءلال ساعات اليوم. وكما نلاحظ أن هذه الكمية الكبيرة من الحرارة المكسبة تءل الءرفة في أوقات لاحقة نتيجة للتأءل الزمني مما يعمل على خفض ءمل التبريد كما ذكرنا آنفاً وكما يتضح من الشكل (٦ - ١).



شكل (٦ - ١): يوضح الفرق بين الكسب الحراري الآني وءمل التبريد نتيجة للخزن الحراري

تعين الحرارة المكتسبة خلال الجدران أو الحوائط المحيطة بالحيز نتيجة فرق درجات الحرارة بين الداخل والخارج فقط (air-to-air temperature) بالمعادلة التالية :

$$Q_w = \Sigma U \times A \times (T_o - T_i)$$

حيث -

$T_i = \{^{\circ}C\}$  درجة حرارة هواء التصميم الجافة الداخلية

$T_o = \{^{\circ}C\}$  درجة حرارة هواء التصميم الجافة الخارجية

$A = \{m^2\}$  المساحة الخارجية للجدران ، السقف ... الخ

$U = \{W/m^2 K\}$  معمل الحرارة الكلي للجدران ، السقف .... الخ

ومعامل الحرارة الكلي للجدران ( $U$ ) يعتمد على الطبقات التي يتكون منها المبنى كما أن معامل الحرارة بالحمل للأسطح الداخلية ( $h_i$ ) والأسطح الخارجية ( $h_o$ ) يعتمدان على سرعة الهواء كما يظهر في الجدول (٦ - ١) التالي :

يمكن تعيين الحرارة الكلية للجدران ( $U$ ) من المعادلة التالية

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_i} + \sum \frac{x}{k}$$

حيث :

$x = \{m\}$  سمك الحائط

$k = \{W / mK\}$  معامل انتقال الحرارة بالتوصيل

البيان	اتجاه الحرارة	$h\{W / m^2 K\}$
هواء ساكن مع حائط أفقي	إلى أعلى	10
هواء ساكن مع حائط أفقي	إلى أسفل	6
هواء ساكن مع حائط رأسي	أفقي (حوائط)	8
هواء متحرك بسرعة 6.7 m/s	كل الاتجاهات	34
هواء متحرك بسرعة 3.4 m/s	كل الاتجاهات	23

جدول (٦ - ١) : معامل انتقال الحرارة بالحمل

المادة	$k = \{W / mK\}$
طوب عادي	(common brick) 0.72
طوب واجه	(Face brick) 1.30
خرسانة	(Concrete) 1.72
بلاط	(Tiles) 1.10
حجارة	(Stone) 1.80
مونة إسمنتية	(Cement plaster) 0.72
مونة جبسية	(Gypsum plaster) 0.80
خشب ناشف	(Hard wood) 0.16
خشب طري	(Soft wood) 0.12
رمل	(Sand) 1.72
قلين	(Cork) 0.036
صوف زجاجي	(Glass wool) 0.036
بولستيرين	(Polystyrene) 0.040
بولي إريان	(Polyurethane) 0.023

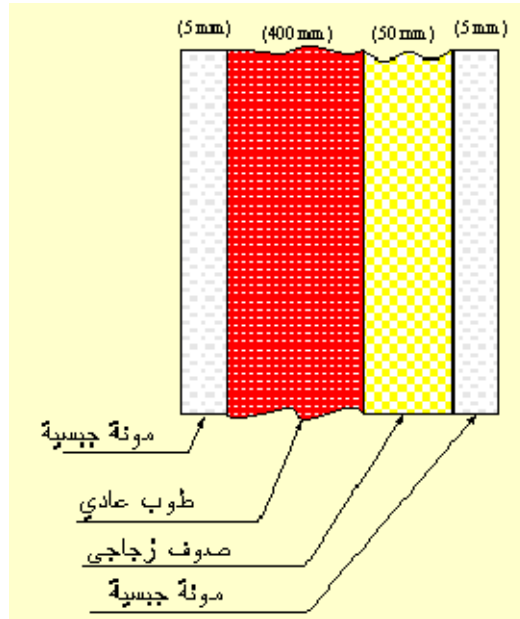
جدول (٦ - ٢): معامل التوصيل الحراري لبعض المواد

الجدول (٦ - ٢) يوضح مقدار معامل الحرارة بالتوصيل  $k$  بالوحدات  $\{W / mK\}$  لبعض المواد المكونة للحوائط.

المواد التي لها معامل توصيل حراري صغير تعرف بالعوازل (insulants) وهي مهمة في تقليل الحمل الحراري بالتوصيل للجدران والأسقف.

مثال ١:

للحائط الموضح أدناه، أوجد معامل انتقال الحرارة بالتوصيل  $U$  إذا كان معامل انتقال الحرارة بالحمل للأسطح الخارجية  $h_0 = 20 W / m^2 K$  و معامل انتقال الحرارة بالحمل للأسطح الداخلية  $h_i = 10 W / m^2 K$ .



شكل (٦ - ٢):

$$\sum \frac{x}{k} = \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{x_4}{k_4} \quad \text{من الرسم:}$$

$$x_2 = 400 \text{ mm} = 0.400 \text{ m} \quad \text{و} \quad x_1 = x_4 = 5 \text{ mm} = 0.005 \text{ m}$$

$$x_3 = 50 \text{ mm} = 0.050 \text{ m}$$

$$k_1 = k_4 = 0.80 \text{ W / mK} \quad \text{ومن الجءاول (للمونة الجبسية)}$$

$$k_2 = 0.72 \text{ W / mK} \quad \text{ومن الجءاول (للطوب العاءي)}$$

$$k_3 = 0.036 \text{ W / mK} \quad \text{ومن الجءاول (للصءوف الزءاجي)}$$

$$\sum \frac{x}{k} = \frac{0.005}{0.800} + \frac{0.400}{0.72} + \frac{0.050}{0.036} + \frac{0.005}{0.800} = 1.957$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_i} + \sum \frac{x}{k} = \frac{1}{20} + \frac{1}{10} + 1.957 = 2.107$$

$$\therefore U = \frac{1}{2.107} = 0.475 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

ءرءة حرارة الشمس والهواء: Sol-air Temperture ( $T_e$ )

ءرءة حرارة الشمس والهواء هي ءرءة حرارة وهمية تعبر عن قيمة ءرءة حرارة الهواء الءارجي والءي فف غفاء أشكال التباءل الاشعاعي تعطي نفس معدل انتقال الحرارة ءلال السءح الءارجي للءءار كالأءي فءء نءفة للفرق فف ءرءة الحرارة وتباءل الإشعاع وسنرمز لها بالرمز ( $T_e$ )

$$T_e = T_o + (\alpha I) / h_o$$

$$\Delta T_s = T_e - T_o$$

أو



ءءء إن :

$I = (W / m^2)$  شءءة الإشءاع الشمسي

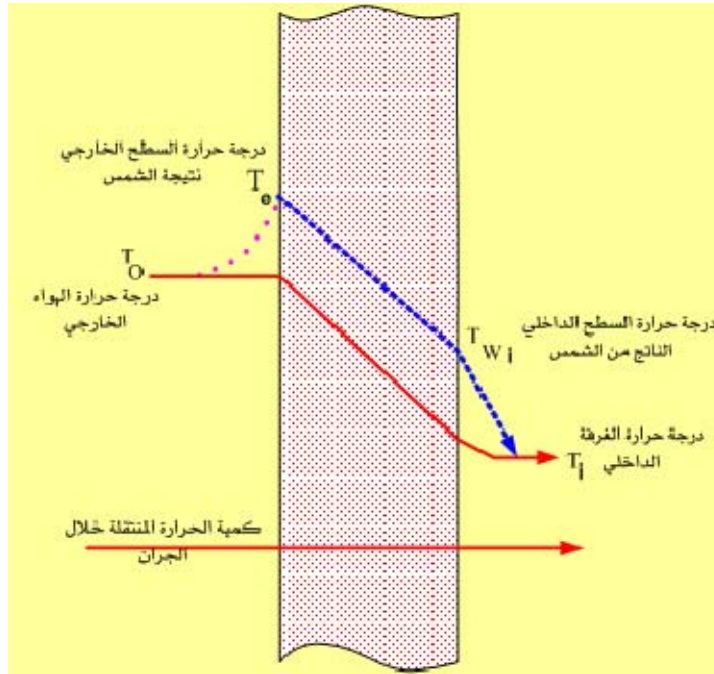
$h_o = [W / m^2 K]$  معامء انءقال الحرارة للأسطءء الخارجي

$\alpha =$  معامء الامءصاص للأسطءء الخارجي

$\Delta T_s = \{K\}$  فرق ءرءاء الحرارة الإءاضاء نءءءة أشءة الشمس

$$\Delta T_s = T_e - T_o = (\alpha I) / h_o$$

الرسم أءناه يوضح تأءئر الإشءاع الشمسي على ءرءاء حرارة الأسطءء الخارجي ءءء نءء أن ءرءة حرارة السطءء الخارجي عءء  $T_e$  بءنما ءرءة الحرارة المءيطة الخارجي  $T_o$  ( $T_e > T_o$ ).



شكل (٦ - ٣): الكسب الحراري الشمسي

عليه يمكن حساب الحرارة المءءسبة من الشمس بالتوصيل خلال الجءران والأسقف بالمعاءلة التالية :

$$Q_{sun} = \Sigma(UA\Delta T_s)$$

ءءء :

$A = \{m^2\}$  مساءة سطءء الحائء أو السقف

$U = \{W / m^2 K\}$  معامء انءقال الحرارة الكلي

معامء امءصاص الأشءة ءءءلء قيمءه حسب اءءلاف المواء والألوان كما في الجءول ءءالي :

مادة السطح	$\alpha$
طوب أحمر رملي جيرى	0.70 – 0.55
طوب أبيض رملي جيرى	0.5 – 0.4
حجارة جيرية	0.5 – 0.3
إردواز رمادي	0.9 – 0.8
بلاط خرساني	0.65
سقف إسفلتي	0.9

جدول (٦ - ٣): معامل الامتصاص للسطح

كذلك يمكن تقدير حساب الحرارة المكتسبة من الشمس و الهواء معاً والتي تنتقل خلال الحائط المعرض للشمس من المعادلة التالية:

$$Q_w = AU(T_e - T_i)$$

حيث:

شدة الإشعاع الشمسي ( $I$ ) الساقط على الجدران يعتمد على الموقع والزمن:

الشهر	الشمال N	الشرق E	الءنوب S	الغرب W	الاءءاء الأفقف HOR.
فنافر	82.6	610.10	727.3	610.10	645.6
فبرافر	92.10	691.3	622.9	680.9	760.1
مارس	104.0	7222.7	424.3	719.7	846.1
أبرفل	114.7	708.4	258.5	708.1	881.8
مافو	131.1	685.10	158.3	679.7	884.3
فونفو	166.1	664.2	139.0	655.4	875.1
فولفو	131.1	662.0	100.1	660.4	868.2
أءسءس	119.8	674.3	249.4	682.9	860.9
سبءمبر	107.8	823.7	448.9	698.6	824.4
أءءوبر	95.8	646.3	609.1	663.6	749.3
نوفمبر	83.9	592.7	720.7	587.9	646.3
ءفسمبر	77.6	570.9	756.6	756.6	596.5

ءءول (٦ - ٤): شءة الإشءاع الشمسف لمءفنة الرفاض ءلال أشهر السنة لبعض

الاءءاءاء ( $W/m^2$ )

الاتجاه الافقي HOR.	الغرب W	الجنوب S	الشرق E	الشمال N	الوقت Hour
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0000
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0100
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0200
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0300
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0400
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0500
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0600
111.0	24.3	267.0	489.9	24.3	0700
339.2	55.5	529.0	707.4	55.5	0800
532.8	77.6	688.8	649.4	77.6	0900
672.1	92.7	791.9	479.2	92.7	1000
747.1	103.4	845.2	251.3	100.9	1100
752.5	2150.0	849.0	104.7	101.5	1200
687.6	448.6	802.9	94.6	94.6	1300
557.0	629.6	707.1	80.4	80.4	1400
370.4	709.3	556.7	59.3	59.3	1500
145.3	556.4	317.8	29.6	29.6	1600
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1700
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1800
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1900
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2000
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2100
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2200
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2300

جدول (٦ - ٥): الإشعاع الكلي لمدينة الرياض خلال شهر يناير ( $W/m^2$ )

الوقت Hour	الشمال N	الشرق E	الجنوب S	الغرب W	الاتجاه الأفقي HOR.
0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0200	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0300	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0400	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0500	5.3	12.3	1.0	1.0	1.9
0600	197.0	564.0	50.4	50.4	199.6
0700	216.3	761.6	89.8	86.1	431.6
0800	181.6	766.4	120.4	112.5	636.9
0900	143.8	662.7	149.1	132.4	809.2
1000	154.8	489.6	211.8	146.0	928.4
1100	160.5	276.5	244.9	159.2	989.9
1200	160.5	158.9	244.3	218.3	988.9
1300	154.8	145.6	210.6	494.3	926.2
1400	143.4	132.1	147.2	666.1	805.5
1500	182.8	122.2	119.8	767.9	635.2
1600	216.6	85.4	88.9	759.4	426.2
1700	194.8	49.2	49.2	555.2	193.6
1800	0.0	0.0	0.3	6.6	1.0
1900	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2200	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2300	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

جدول (٦ - ٦): الإشعاع الكلي لمدينة الرياض خلال شهر يوليو ( $W/m^2$ )

بالنسبة لاتجاه الحائط تكون قيمة شدة الإشعاع الشمسي كبيرة على الحوائط الشرقية حوالي الساعة الثامنة صباحا وعلى الحوائط الجنوبية حوالي الساعة الحادية عشرة صباحاً وللأسقف حوالي الساعة الثانية عشر ظهرا وعلى الحوائط الغربية حوالي الساعة الثالثة مساء ( انظر الجدول ٦ - ٦). وبالنسبة للحوائط الشمالية تكون شدة أشعة الشمس بسيطة ويمكن إهمالها. الزيادة في درجة حرارة الحوائط والأسقف يمكن اعتبارها عند حساب الأحمال وذلك باعتبار زيادة معينة في درجة الحرارة الخارجية للحائط أو السقف.

الكسب الإشعاعي بالتوصيل بالنسبة للجدران والحوائط يكون متخلفاً عن وقت التصميم بعدة ساعات ويعتمد ذلك على نوعية مادة المبنى ، اتجاه المبنى ، شدة الاشعاع .ويجب أخذ ذلك في الاعتبار. غير أن بعضاً من مراجع تقديرات الأحمال كانت تتجاهل هذا الحمل والحمل نتيجة للإشعاع الشمسي وتعتمد في تقدير أحمال التوصيل للجدران بأخذ الفرق في درجة حرارة الهواء الخارجي والهواء الداخلي

(air-air temperature). ويجب التنبيه هنا إلى أن قيمة درجة الشمس والهواء Sol-air Temperture ( $T_e$ ) لمدينة الرياض تتجاوز الـ  $65^\circ C$  في فصل الصيف (يمكن حسابها من المعادلة السابقة).

مثال ٢:

غرفة أبعادها  $6 m \times 4 m \times 3 m$  بها عدد واحد باب خشبي أبعاده  $2 m \times 1.5 m$  وثلاثة شبابيك زجاجية أبعاد كل واحد منها  $1.5 m \times 1.2 m$ . بمعرفة الأحوال التالية أوجد الحمل الكلي للجدران ( $Q_w$ ):

- ظروف التصميم الخارجية  $40^\circ C(db), 30^\circ C(wb)$
- ظروف التصميم الداخلية  $24^\circ C(db), 50\% RH$
- درجة حرارة التربة  $27^\circ C(db)$
- درجة حرارة السقف مع اعتبار أشعة الشمس  $48^\circ C(db)$

ومعامل التوصيل الحراري الكلي ( $U$ ) كما يلي:

- معامل التوصيل الحراري الكلي للحوائط الرأسية والسقف  $2.4 W/m^2 K$
- معامل التوصيل الحراري الكلي للأرضية  $0.6 W/m^2 K$
- معامل التوصيل الحراري الكلي للباب الخشبي  $2.0 W/m^2 K$
- معامل التوصيل الحراري الكلي للشبابيك الزجاجية  $5.6 W/m^2 K$

الحل :

يستحسن حل مثل هذا النوع من حساب الأحمال على هيئة جدول كالتالي:

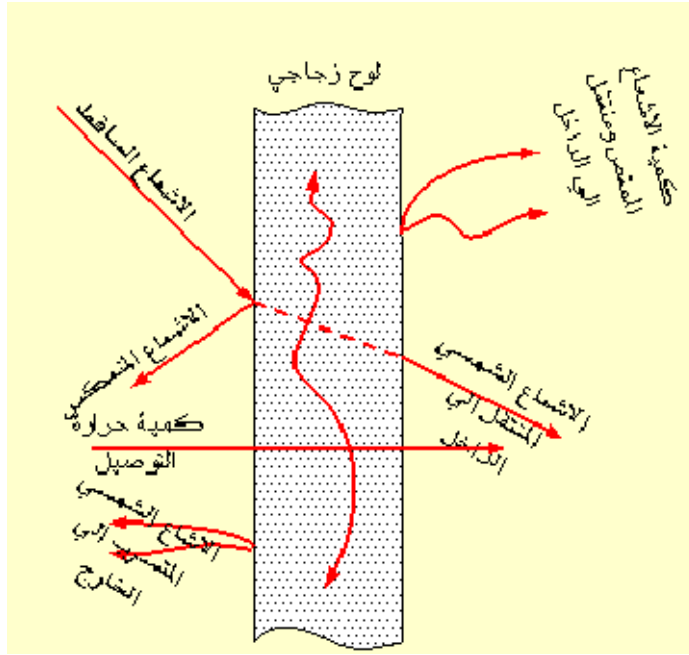
البيان	$U$ $W/m^2 K$	$A$ $m^2$	$\Delta T$ $^\circ C$	$Q_w$ $W$
الجدران الرأسية	2.4	51.6	16	1981.4
الباب	2.0	3.0	16	96.0
الشبابيك	5.6	5.4	16	483.8
السقف	2.4	24	24	1382.4
الأرضية	0.6	24	03	43.2
انتقال الحرارة بالتوصيل للجدران				3986.8

جدول (٦ - ٧): مثال ٢

انتقال الحرارة بالتوصيل للجدران  $Q_w = 3986.8 W = 3.987 kW$

ب. الكسب الإشعاعي خلال المساحات الزجاجية ( $Q_{rad}$ )

غالبا ما يحدد الكسب الشمسي خلال الشبائيك الوقت من ناحية اليوم والسنة الذي يخمن عنده الحمل وبالرجوع لجداول الكسب الشمسي خلال الزجاج يلاحظ أن الكسب خلال الشبائيك الشرقية والغربية يصل قمته عند الثامنة صباحا والرابعة مساء على التوالي إلى في شهر يولية في حين يتحقق ذلك بين الساعة الثانية عشر ظهرا والثانية بعد الظهر للشبائيك الجنوبية في شهري يناير ويوليو لذا فقد يكون ضروريا إجراء أكثر من تخمين واحد للوقوف على الحمل الأقصى.



شكل (٦ - ٤): الكسب الإشعاعي للمساحات الزجاجية

كمية حرارة الإشعاع الزجاجي التي تنتقل إلى الحيز المكيف جزء منها يكون عبارة عن حرارة الإشعاع المباشر، وبعض من الحرارة التي يمتصها الجسم الزجاجي تتسرب إلى الداخل أيضا زيادة على حمل التوصيل الذي ذكرناه سابقا. كمية الحرارة خلال الجسم الزجاجي = الحرارة بالإشعاع المباشر + جزء من الحرارة الممتصة + حرارة التوصيل.

يمكن التعبير عن كمية الحرارة المنتقلة خلال الأسطح الزجاجية بالمعادلة التالية:

$$Q_{rad} = A \times I \times (SC)$$

حيث:

$$Q_{rad} = [kW] \quad \text{الكسب نتيجة الإشعاع الشمسي خلال الزجاج}$$

$$I = (W / m^2) \quad \text{شدة الإشعاع الشمسي}$$

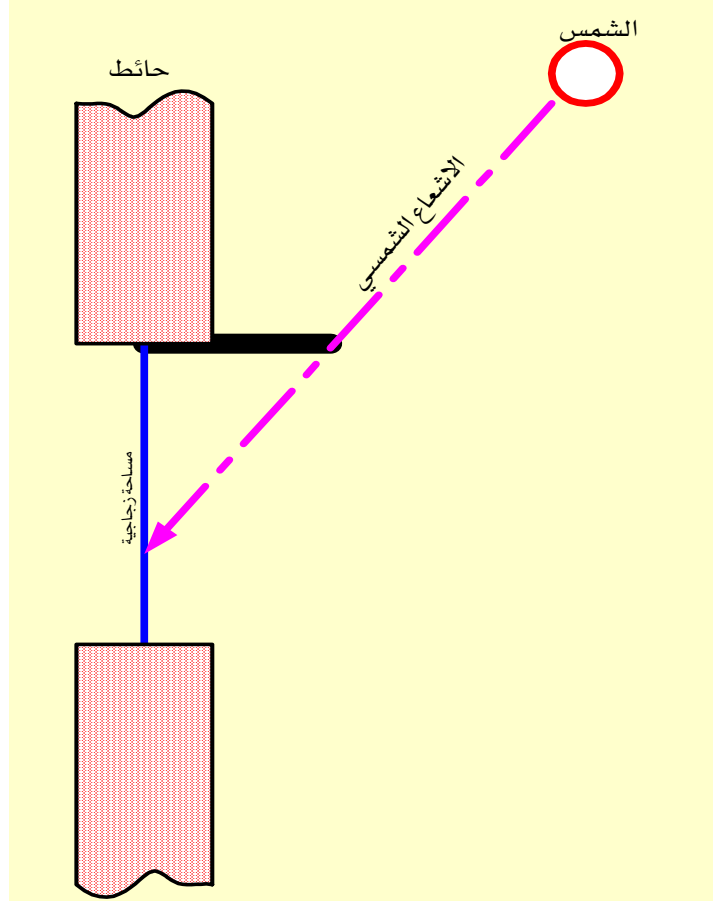
$$SC = [None] \quad \text{معامل التظليل}$$

حيث نجد أن انتقال الحرارة خلال الزجاج يختلف أيضا حسب نوعية التظليل كما أن وجود ستائر على الشبابيك يقلل من كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة للحيز كما يبينه الجدول التالي:

عدد الألواح	مع ستارة داخلية	بدون تظليل
واحد: عادي	0.64	0.83
مع سقيفة	0.57	0.69
مع طبقة عاكسة	0.33	0.40
اثنين: عادي	0.57	0.88
مع طبقة عاكسة	0.34	0.40

جدول (٦-٨): معامل التظليل للزجاج

كمية حرارة الإشعاع خلال المساحات الزجاجية تتأثر أيضا بوجود ظل من الجدران الملاصقة ( أو عن طريق عمل ستائر خارجية تحجب الإشعاع الشمسي ) على تلك المساحات حيث يحجب عن الزجاج كثيرا من أشعة الشمس مما يقلل من انتقال الحرارة بالإشعاع إلى الحيز المكيف.



شكل (٦-٥): أثر الظل على المساحات الزجاجية



ج. الكسب الحراري للتهوية أو التسرب  $(Q_v), (Q_{inf})$  :-

تقريبا جميع المباني تسمح بتسرب الهواء الخارجي إلى الحيز المكيف من خلال الشبابيك و الأبواب وهذا ما يعرف بهواء التسرب (infiltration). كمية هذا الهواء تعتمد على مستوى جودة المبنى (building quality) فكل ما كان المبنى محكما كلما قل هواء التسرب كذلك تعتمد كمية هواء التسرب على سرعة الرياح حيث يزيد معدل هواء التهوية مع زيادة سرعة الرياح.

قد يشكل تسرب الهواء من الجو المحيط إلى الحيز المكيف كسبا كامنا كبيرا ولدرجة أقل كسبا محسوسا للغرفة. يمكن اختزال تأثير هذا التسرب في معظم التطبيقات التي تراعي فيها المواصفات القياسية للتهوية بهواء مرشح مكيف من جهاز التكييف. ويجب إضافة 20% لمعدل التسرب المحسوب لبلوغ الحد الأدنى اللازم للتهوية. يصعب تحديد مقدار التسرب لمساحة مكيفة معينة وتتوفر عدة طرق لأغراض التصميم أبسطها تفرض هواء التسرب يعادل تغيير هواء الغرفة بأكمله مرة واحدة إلى مرة ونصف في الساعة [1-1.5 Air Changes Per Hour (ACH)]: أي:

$$\text{التسرب } \{m^3/s\} = (\text{حجم الغرفة} \times \text{عدد مرات تغيير الهواء في الساعة (ACH)}) \div 3600$$

هذه الطريقة شائعة الاستخدام ويمكن التعويل عليها لتأكيد نتائج الطرق الحسابية مثل التي يعزى فيها التسرب إلى شقوق الشبابيك وتأثير فتح وغلق الأبواب. في المباني التي تستخدم فيها شبابيك ثابتة، خاصة مزدوجة التزجيج منها، يضمحل التسرب لحد كبير. ويمكن اعتبار نصف إلى ربع مرة لمعدل تغيير الهواء في الساعة [0.25-0.5 Air Changes Per Hour (ACH)].

الطريقة الأخرى لحساب معدل هواء التهوية ( $\dot{V}$ ) هو عن طريق الشقوق (Crack method). ومعدل هواء التسرب في هذه الحالة يعتمد على مساحة الشقوق (A) وفرق الضغط بين الداخل والخارج ( $\Delta p$ ) أي

$$\dot{V} = AC\Delta p^n$$

حيث:

A=

المساحة الفعالة للشقوق

C=

معامل يعتمد على نوعية فتحة الشق ونوعية السريان

$\Delta p$ =

فرق الضغط بين الداخل والخارج

الأس n يعتمد على نوعية سريان الهواء في الشقوق  $0.4 < n < 1.0$

لمثل هذه الحالات تم عمل جداول لتبين معدل سريان هواء التسرب. فالجدول (٦ - ٩) يبين التسرب خلال الشبابيك لكل متر من أطوال الشقوق والجدول (٦ - ١٠) يبين التسرب خلال الأبواب لأنماط الاستعمال الشائعة وذلك عند سرعة رياح مقدارها 3.35 m/s في الصيف.

نوع الشباك	$L/s/m$
إطار خشبي (حالته جيدة)	0.36
إطار خشبي (حالته رءيئة)	1.00
إطار معدني	0.72
معدني. مءمركز رأسيا	1.70
معدني. مءمركز عموديا	1.44
معدني - بوابي	0.50

ءءول (٦ - ٩): التسرب ءلال الشبايبك

مءل التسرب (L/s)			
نوع الباب	مفلق	استءءام عاءي	مفتوح
أبواب ءوارة	13	85	565
باب زءاجي (2.73m × 0.92m)	45	165	330
باب خشبي (2.00m × 0.76m)	5	35	236
باب خشبي (2.13m × 0.92m)	9	64	330
باب خشبي (2.13m × 1.84m)	38	85	660

ءءول (٦ - ١٠): التسرب ءلال الأبواب

المباني الكبيرة التي تستعمل نظم التكييف المءكزي ، تستعمل كمية هواء التهوية اللازمة بءلا من هواء التسرب

ينقسم هواء التهوية أو التسرب إلى قسمين:

١. كسب حراري محسوس  $Q_{vs}$

$$Q_{vs} = \frac{\dot{V}}{v_o} c_{p_{air}} (T_o - T_i)$$

حيث :

$$\dot{V} = [m^3 / s]$$

معدل سريان الهواء الحجمي

$$v_o = [m^3 / kg]$$

الحجم النوعي للهواء الخارجي

$$c_{p_{air}} = [1.006 \text{ kJ} / \text{kgK}]$$

الحرارة النوعية للهواء

٢- كسب حراري كامن ( $Q_{v_i}$ )

$$Q_{v_i} = \frac{V}{v_o} (\omega_o - \omega_i) \times h_{fg}$$

$$\omega_o = [kg_{water} / kg_{air}]$$

حيث : الرطوبة النوعية للهواء الخارجي

$$\omega_i = [kg_{water} / kg_{air}]$$

الرطوبة النوعية للهواء الداخلي

$$h_{fg} = [2500 \text{ kJ} / \text{kg}]$$

الحرارة الكامنة للتبخير عند درجة الهواء الداخلي

إذن فالكسب الحراري الكلي للتسرب أو التهوية ( $Q_v$ ) هو مجموع الكسب المحسوس زائداً الكسب الكامن .

$$Q_v = Q_{v_s} + Q_{v_i} = \frac{V}{v_o} \Delta h$$

$$\Delta h = [kJ / kg]$$

حيث : فرق الإنثالبي بين الهواء الداخلي والخارجي

يستعمل كثير من المصممين نظام معدل تغيير الهواء للغرفة / الساعة (N) حيث يحسب الكسب

الحراري الكلي للتسرب أو التهوية ( $Q_v$ ) بالمعادلة التالية

$$Q_v = \frac{N \times V \times \Delta h}{3600 \times v_o} \text{ kW}$$

حيث :

$$V = [m^3]$$

حجم الحيز أو الغرفة

طرق حساب كمية هواء التهوية :

ومن الطرق الشائعة لحساب كمية الهواء اللازم لتهوية حيز معين الطرق التالية :

- على أساس معدل تغيير هواء لغرفة في الساعة (ACH)

- على أساس عدد الأشخاص

أ- على أساس معدل تغيير هواء الغرفة في الساعة (ACH)

كمية الهواء المطلوبة = عدد مرات تغيير الهواء الكلي × حجم المكان

وتختلف عدد مرات تغير الهواء للمكان تبعاً لاختلاف نوع واستعمال المبنى كما يبين الجدول (٦ - ١١) التالي بعضاً من معدلات تغير الهواء في الساعة (ACH):

معدل تغير الهواء (ACH)	الاستخدام
6-10	مسارح - سينما
3-4	مكتبات
4-6	مكاتب
4-6	معامل
5-10	غرفة طعام
6	صيدليات
6	مطابخ
20	مطابخ - فنادق - مناطق صناعية

جدول (٦ - ١١): معدلات تغير الهواء (ACH)

ب - على أساس عدد الأشخاص:

كمية الهواء المطلوب للتهوية = كمية الهواء اللازمة للشخص الواحد × عدد الأشخاص

الكمية اللازمة لكل شخص تستخرج من الجداول مثال ذلك الجدول (١٢-٦) التالي:

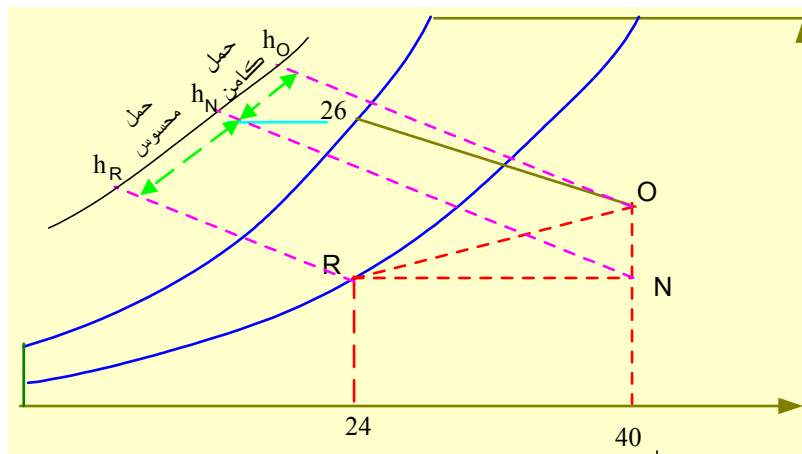
معدلات التهوية لكل شخص (L/s)		التدخين	الاستخدام
المفضل	الأدنى		
9.5	7	أحيانا	شقة
7.5	5	أحيانا	مصرف
7.0	5	أحيانا	صالون
3.5	2.5	ممنوع	محلات تجارية
5.0	3.5	ممنوع	مصانع
14	12	ممنوع	مستشفيات
14.0	12.0	شديد	فنادق
24.0	14.0	شديد	غرف اجتماعات
12.5	7.5	أحيانا	مكاتب عامة
10.0	7.5	أحيانا	مطاعم
6.0	3.5	أحيانا	كفتيريا
5.0	2.5	ممنوع	مسارح

جدول (٦-١٢): معدل التهوية

مثال ۳ :

مكتب أبعاده الداخلية  $8\text{ m} \times 6\text{ m} \times 3\text{ m}$  مكيف عند  $24^\circ\text{C}(\text{db}), 50\% \text{RH}$  أوجد الكسب الحراري المحسوس، الكسب الكامن والكسب الكلي نتيجة للتهوية باعتبار معدل تغيير هواء الغرفة في الساعة،  $\text{ACH}=5$  والأحوال الخارجية عند  $40^\circ\text{C}(\text{db}), 26^\circ\text{C}(\text{wb})$

ن الخريطة السيكرومترية:



شكل (٦-٦): مثال

$$h_R = 48.5 \text{ kJ / kg}$$

$$h_O = 75.0 \text{ kJ / kg}$$

$$h_N = 65.0 \text{ kJ / g}$$

$$v_0 = 0.908 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$\dot{V} = \frac{V \times ACH}{3600}$$

∴ معدل السريان الحجمي لهواء التهوية

$$\dot{V} = \frac{(8 \times 6 \times 3) \times 5}{3600}$$

$$\dot{V} = 0.2 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{v_0} = \frac{0.2}{0.908} = 0.22 \text{ kg / s}$$

معدل سريان هواء التهوية

$$Q_{v_s} = \dot{m}(h_N - h_R)$$

الكسب الحراري المحسوس نتيجة للتهوية

$$Q_{v_s} = 0.22 (65 - 48.5) = 3.63 \text{ kW}$$

$$Q_{v_l} = \dot{m}(h_0 - h_N)$$

الكسب الحراري الكامن نتيجة للتهوية

$$Q_{v_l} = 0.22 (75 - 65) = 2.2 \text{ kW}$$

$$Q_v = Q_{v_s} + Q_{v_l}$$

الكسب الحراري الكلي نتيجة للتهوية

$$Q_v = 3.63 + 2.2 = 5.83 \text{ kW}$$

أو

$$Q_v = \dot{m}(h_0 - h_R)$$

الكسب الحراري الكلي نتيجة للتهوية

$$Q_v = 0.22 (75.0 - 48.5) = 5.83 \text{ kW}$$

د. الكسب الحراري نتيجة للإضاءة ( $Q_L$ )

يحسب الكسب الحراري نتيجة للإضاءة من المعادلة التالية

$$Q_L = N \times P \times F \times (DF)$$

حيث إن:

$$N =$$

عدد اللمبات

$$P = [W]$$

قدرة اللبة الواحدة

$$F =$$

المعامل ( حسب نوع اللبة )

$$= 1.25 - 1.30 \text{ for florescent lamps}$$

$$= 1.0 \text{ for bulb lamps}$$

$$DF = (\text{Diversity Factor})$$

معامل التباين

يلاحظ أن قدرة اللمبات الفلورسنت زيدت بمقدار 25- 30 % لتأخذ في الاعتبار القدرة اللازمة للمحول

الذي يعمل مع اللمبات الفلورسنت . في الحسابات التقريبية نجد أننا ، نأخذ معامل التباين ( يساوي واحد).

يستخدم الجدول (٦ - ١٣) عند الحاجة لتحديد عدد اللمبات اللازمة لإضاءة حيز معين وقدرتها :

نوع الاستخدام	شدة الإضاءة ( $W / m^2$ )
مكاتب	60
مصانع	45
مدارس - جامعات	40
سكن - مسرح - فندق	20
مطعم	17
مستشفيات - متاحف	15

جدول (٦ - ١٣): شدة الإضاءة

الجدول (٦ - ١٤) يوضح معامل التباين للإضاءة الأشخاص لعدة استخدامات.

الاستخدام	معامل التباين	
	الأشخاص	الإضاءة
مكاتب	0.90 - 0.70	0.85 - 0.70
شقق - فنادق	0.60 - 0.40	0.50 - 0.30
محلات تجارية	0.80 - 0.90	1.00 - 0.90
مصانع	0.85 - 0.95	0.90 - 0.80

جدول (٦ - ١٤): معامل التباين

مثال ٤ :

احسب الكسب الحراري الناتج عن الإضاءة إذ يوجد 50 لمبة كهربية عادية قدرة كل منها 100 W و 20 لمبة فلورسنت قدرة كل منها 40 W.

الحل:

$$Q_{light} = (N_1 P_1)_{bulb} + (1.25 N_2 P_2)_{flourescent}$$

$$= 50 \times 100 + 1.25 \times 20 \times 40$$

$$= 5000 + 1000 = 6000 \text{ W} = 6 \text{ kW}$$

مثال ٥ :

حجرة دراسية مساحتها  $50 \text{ m}^2$  يراد إضاءتها. أوجد عدد اللمبات التي يجب أن تتركب في هذه

الغرفة عند :

- عند اختيارنا لمبات عادية قدرة كل منها  $100 \text{ W}$ .

- عند اختيارنا لمبات فلورسنت قدرة كل منها  $40 \text{ W}$ .

و كذلك الكسب الحراري للإضاءة لهذه الحجرة.

الحل:

من الجدول (٦ - ١٣) ، نجد أن شدة الإضاءة للحجرة الدراسية تكون على الأقل  $40 \text{ W / m}^2$  عليه يكون قدرة الإضاءة اللازمة للحجرة الدراسية (I)

$$I = 50 \times 40 = 2000 \text{ W}$$

عند اختيارنا للمبات العادية وباعتبار  $100 \text{ W}$  لكل لمبة ، فإن عدد اللمبات العادية ( $N_1$ ) يكون :

$$N_1 = \frac{2000}{100} = 20$$

ويكون عندئذ الكسب الحراري نتيجة للإضاءة هو  $2000 \text{ W}$

إذا اخترنا لمبات فلورسنت قدرة كل لمبة  $40 \text{ W}$  ، عليه تكون عدد اللمبات الفلورسنت ( $N_2$ )

$$N_2 = \frac{2000}{40} = 50$$

في هذه الحالة يكون الكسب الحراري

$$Q_{light} = (1.25 N_2 P_2)_{flourescent}$$

$$= 1.25 \times 50 \times 40 = 2500 \text{ W}$$

هـ. الكسب الحراري نتيجة للأشخاص : Heat gain due to occupants

يعطي شاغلو الأماكن المكيفة حرارة تتوقف على طبيعة حالة كل شخص. يعطي الإنسان حرارة

محسوسة نتيجة اختلاف درجة حرارة جسمه ( $37^\circ \text{C}$ ) عن درجة الراحة داخل المكان المكيف كما يعطي

حرارة كامنة نتيجة تبخر بخار الماء داخل الرئة وتبخر العرق من سطح جسمه عند تعرضه للهواء .

و تتسرب الحرارة التي يولدها الإنسان بإحدى ثلاث طرق :

بالإشعاع كحرارة محسوسة ، بالحمل كحرارة محسوسة وتبخر الرطوبة التي يفرزها جسم

الإنسان بشكل حرارة كامنة. وكلما زادت درجة حرارة البصيلة الجافة في الفضاء المكيف كلما زاد

اعتماد الجسم على التبخير لتأمين تبريده وبذلك يزداد الحمل الحراري الكامن ويلعب مستوى الفعالية

والحركة للإنسان دورا هاما في تقسيم الحمل الحراري من الأشخاص إلى كامن ومحسوسة كذلك في



معدل الأيض metabolic rate الكلي. الجدول (٦ - ١٥) يوضح متوسط الكسب الحراري المتوقع من الأشخاص لمختلف التطبيقات عند أحوال منطقة الراحة.

حالة الإنسان	الاستخدام	حرارة محسوسة	حرارة كامنة	المجموع
جالس ومستريح	مسرح	66	31	97
جالس ويعمل عمل خفيف	مكتب - شقة - فندق	72	45	117
يزاول عمل متوسط	مكتب - شقة - فندق	73	59	132
واقف ويزاول عمل خفيف	محلات تجارية	73	59	132
يمشي ببطء	مصرف	73	73	146
جالس	مطعم	81	81	162
يزاول شغل بسيط	مصنع	81	139	220
عامل متحرك	مصنع	81	139	220
عامل يزاول شغل متوسط	مصنع	88	204	292
عامل يزاول شغل ثقيل	مصنع	170	255	425
شخص يزاول رياضة	مصنع	170	255	425

جدول (٦ - ١٥): الكسب الحراري للأشخاص (w)

تعين الحرارة المحسوسة التي يعطيها شاغلو المكان بالمعادلة التالية:

$$Q_{p_s} = n \times q_{p_s} \times (D.F.)$$

وتعين الحرارة الكامنة التي يعطيها شاغلو المكان بالمعادلة التالية

$$Q_{p_L} = n \times q_{p_L} \times (D.F.)$$

حيث إن:

n = عدد الأشخاص داخل المكان المكيف

- معامل التباين (Diversity Factor, DF) والذي يأخذ في الاعتبار عدم تواجد كل الأشخاص في

نفس خطة حمل الذروة ويعين من الجداول (٦ - ١٤)

$q_{p_s}$  = معدل الحرارة المحسوسة التي يعطيها كل شخص

$q_{p_L}$  = معدل الحرارة الكامنة التي يعطيها كل شخص

مءال ٦ :

اءسب الكسب اءرارف الكامن؁ المءسوس والكلف الناءء عن الأشخاص إذا كان ءءء الأشخاص 100 فزاولون عملا بسفطا. ومءواءءفن ءمفعا (DF=1)

الء :

من الءءول (٦- ١٥) نءء أن اءرارة الناءءة لءل شءص هف :

$$q = 220 \text{ W} \quad \text{و}$$

$$q_l = 139 \text{ W}$$

$$q_s = 81 \text{ W} \quad \text{و}$$

$$Q_{p_s} = 100 \times 81 = 8100 \text{ W}$$

الءرارة المءسوسة لءل الأشخاص

$$Q_{p_l} = 100 \times 139 = 13900 \text{ W}$$

الءرارة الكامنة لءل الأشخاص

$$Q_p = Q_{p_s} + Q_{p_l}$$

إءن الءرارة الكلفة لءل الأشخاص

$$Q_p = 8100 + 13900 = 22000 \text{ W} = 22.0 \text{ kW}$$

$$Q_p = 100 \times 220 = 22000 \text{ W} = 22.0 \text{ kW}$$

أو الءرارة الكلفة لءل الأشخاص

و. الكسب اءرارف ءءفءة للمءءاء : Heat gain due Equipment

قء ءوءء ءاءل الأماكن المكففة أءءزة ومءءاء بعءفها ءعطفف ءرارة مءسوسة فقء كاءلففزوناء وآلاء ءءصوفر..الخ وبعءفها ءعطفف إءافءة إلى الءرارة المءسوسة ءرارة كامنة. ءءءء ءرارة كل ءهاز أو مءءة من الءءاول أو الكءلوءاء.

فف ءالة المءركاء الكهرفاءفة فءفن الكسب اءرارف لها ( $Q_E$ ) من المءاءلة ءالففة :

$$Q_E = \sum (1 - \eta) E$$

ءفء إن :

$$E =$$

الءءرة اللازمفة للمءءة

$$\eta =$$

كفاءة المءرك

مءال ٧ :

اءسب الكسب اءرارف الناءء عن اسءعمال ءءء 2 مءرك كهرفاءف ءءرة كل منهما 0.5 kW

وكفاءة كل منهما 70%.

الء :

$$Q_E = \sum (1 - \eta) E$$

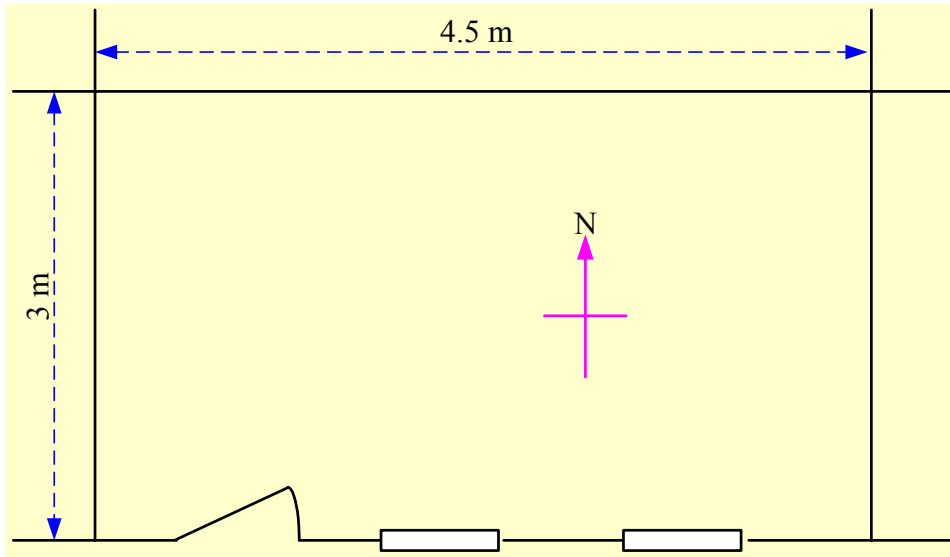
$$= 2 \times (1 - 0.7) \times 0.5 = 0.30 \text{ kW}$$

ز. مصادر حرارية أخرى ( $Q_m$ )

خلافًا لما ذكر، قد توجد مصادر حرارية أخرى قد تزيد أو تنقص كلاً من الحمل المحسوس و/أو الكامن، وعليه يجب أخذها في الاعتبار. مثال ذلك المراوح ومجاري الهواء في أنظمة التكييف حيث تعمل على زيادة درجة حرارة الهواء بمقدار درجة إلى درجتين. (أنظر إلى دراسة الحالة في الوحدة الخامسة)

مثال ٨ :

الغرفة الموضحة أدناه أبعادها  $4.5m \times 3.0m \times 3.0m$  ومكيفة عند  $26^\circ C(db), 50\%RH$  وشروط التصميم الخارجية  $43^\circ C(db), 26^\circ C(wb)$ ، معامل انتقال الحرارة الكلي للزجاج، الحوائط الأرضية والسقف والأبواب  $6.42 W/m^2 K$ ،  $1.35 W/m^2 K$ ،  $1.6 W/m^2 K$ ،  $1.6 W/m^2 K$  و  $1.6 W/m^2 K$  على التوالي. درجة حرارة الأماكن المجاورة للغرفة (بما فيها الأرضية والسقف) تقل بـ  $8^\circ C$  عن درجة حرارة الوسط الخارجي. مساحة الزجاج للحائط الجنوبي  $4 m^2$  ومساحة الباب الخشبي  $3 m^2$ . فرق درجات الحرارة الإضافية للشمس  $12^\circ C$ . وحرارة الشمس المكتسبة للزجاج  $355 W/m^2$ . الهواء النقي لكل شخص  $10 L/s$ . الغرفة تحتوي على أربع لمبات فلورسنت قدرة  $60 W$  وبالعرفة عدد 3 أشخاص يعطي كل واحد منهم  $72 W$  حرارة كامنة و  $45 W$  حرارة محسوسة. أوجد الحمل الكلي للغرفة.



شكل (٦-٧): مثال

الحل :

$$Q_w = \sum UA(T_o - T_i)$$

الحرارة المنتقلة خلال الجدران

$Q_w \{W\}$	$(T_o - T_i)$	$A(m^2)$	$U \{W / m^2 K\}$	
109.35	9	9.0	1.35	الجدران الشرقية
109.35	9	9.0	1.35	الجدران الغربية
149.175	17	6.5	1.35	الجدران الجنوبية
164.025	9	13.5	1.35	الجدران الشمالية
436.56	17	4.0	6.42	الشبابيك الزجاجية
81.6	17	3.0	1.6	الأبواب الخشبية
194.4	9	13.50	1.6	الأرضية
194.4	9	13.50	1.6	السقف
1438.86				

جدول (٦ - ١٦): مثال

الكسب الحراري نتيجة للجدران من الجدول أعلاه  $Q_w = 1438.86W = 1.439kW$

الحرارة المكتسبة للجدران = حرارة الإشعاع للزجاج + تأثير الشمس للجدران ( الجنوبي )

$Q_{rad} = A \times I \times (SC)$  حرارة الإشعاع للزجاج

$SC = 0.83$  ومن الجداول (٦ - ٨)

$$Q_{rad} = A \times I \times (SC)$$

$$= 4 \times 355 \times 0.83 = 1178.6 W$$

الكسب الحراري للجدران نتيجة أشعة الشمس  $Q_{sun} = \Sigma(UA\Delta T_s)$

∴ كمية الحرارة المكتسبة للجدران الجنوبية  $Q_{sun} = (UA\Delta T_s)$

$$= 1.35 \times 6.5 \times 12 = 105.3 W$$

الكسب الحراري الكلي نتيجة أشعة الشمس

$$Q_{sol} = 1178.6 + 105.3 = 1283.9 W = 1.284 kW$$

الكسب الحراري من الإضاءة  $Q_L = N \times P \times F$

$$= 4 \times 60 \times 1.25 = 300W = 0.300kW$$

$$Q_{p_s} = n \times q_{p_s} \times (D.F.)$$

الكسب الحراري المحسوس من الأشخاص

$$= 3 \times 72 \times 1 = 216 W$$

$$Q_{p_L} = n \times q_{p_L} \times (D.F.)$$

الكسب الحراري الكامن من الأشخاص

$$= 3 \times 45 \times 1 = 135 W$$

$$Q_p = Q_{p_s} + Q_{p_L}$$

الحرارة الكلية المكتسبة من الأشخاص

$$= 216 + 135 = 351W = 0.351kW$$

الكسب الحراري للتهوية:

من الخريطة السيكمرومترية :

$$h_o = 81 kJ / kg$$

$$v_o = 0.916 m^3 / kg$$

للأحوال الخارجية

$$h_i = 58 kJ / kg$$

للأحوال الداخلية

$$\dot{V} = 3 \times 10 = 30 L / s = 0.030 m^3 / s$$

المعدل الحجمي لهواء التهوية

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{v_o} = \frac{0.030}{0.916} = 0.033 kg / s$$

معدل سريان هواء التهوية

$$Q_v = \dot{m}(h_o - h_i)$$

الكسب الحراري للتهوية:

$$= 0.033(81 - 58) = 0.759 kW$$

$$Q_R = Q_w + Q_{sol} + Q_l + Q_p + Q_v$$

الكسب الحراري الكلي الغرفة الكلي ( $Q_R$ )

$$= 1.439 + 1.284 + 0.300 + 0.351 + 0.759 = 4.133 kW$$

### ثانياً: حساب أحمال التدفئة Heating Load Calculation

تنقسم الحرارة المفقودة من الحيز المكيف للخارج إلى مجموعتين :-

أ - الفقد الحراري من خلال العناصر المحيطة والمكونة للحيز المكيف كالجدران ، الأرضية ، السقف ، الزجاج .. الخ

ب - الفقد الحراري نتيجة تسرب الهواء من خلال الشقوق والفتحات أو الفقد الحراري نتيجة لمتطلبات التهوية.

يجب الأخذ في الاعتبار سرعة الرياح التي تؤثر على الفقد نتيجة التسرب وكذلك تزيد من المقاومة الخارجية للأسطح المؤثرة في حمل التوصيل الحراري ( $h_o$ ).

غالباً ما يكون وقت حساب حمل التدفئة في ساعات الليل أي أنه غالباً ما يهمل حمل التوصيل بالإشعاع وفي هذه الحالة يتم حساب الفقد الحراري للجدران والأسقف بفرض فرق درجة الحرارة للهواء الخارجي والداخلي (air-to-air temperature difference) كما أنه يمكن إهمال بعض الأحمال (مثل الإضاءة والأشخاص) التي لا تؤثر كثيراً على حمل التدفئة إلا في المسارح والمعارض أو الأماكن التجارية.

يمكن الأخذ في الاعتبار الآتي عند حساب الفقد الحراري بالنسبة للأرضية :-

- إن فرق درجات الحرارة بين سطح الأرضية والأحوال الخارجية يكون غالباً في حدود  $15^{\circ}C$
- يلاحظ إنه في حالة أحوال الشتاء المعتدلة ، يمكن إهمال معدل انتقال الحرارة خلال الأرضية (adiabatic conditions)

عند الأخذ في الاعتبار الكسب الحراري نتيجة للأشخاص والإضاءة والمعدات فإنها تقلل من

حمل التدفئة للحيز المكيف أي أنها عامل مساعد لأحمال التدفئة

تستعمل نفس القوانين السابقة لإيجاد أحمال التدفئة.

### تحليل الأحمال الحرارية:

لإيجاد معامل الحرارة المحسوس (SHF) ، لابد من تحليل الأحمال الحرارية إلى أحمال

محسوسة وأحمال كامنة

$$SHF = \frac{Q_s}{Q_T} = \frac{Q_s}{Q_s + Q_l}$$

حيث:

$$Q_s = \{W\}$$

الحمل المحسوس للحيز

$$Q_l = \{W\}$$

الحمل الكامن للحيز المكيف

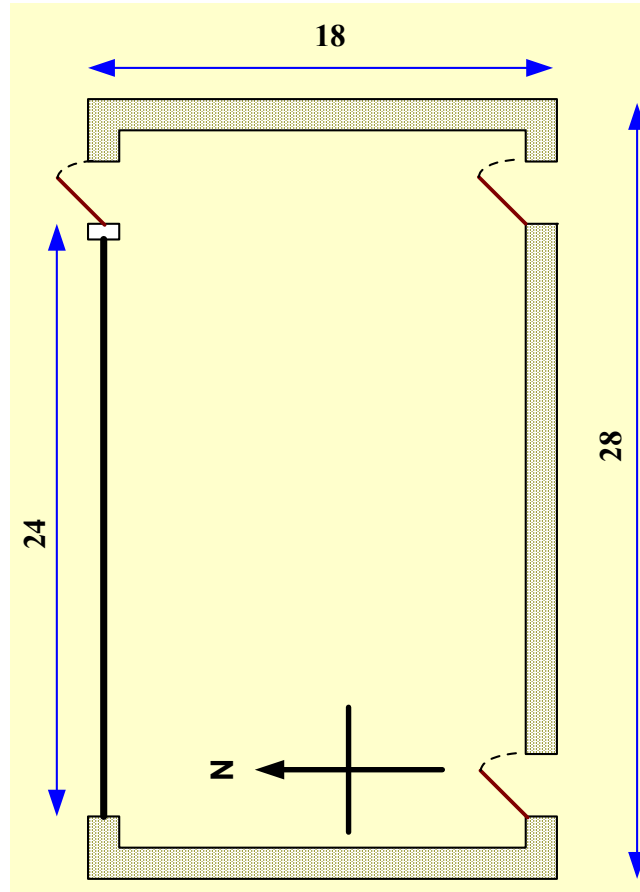
$$Q_T = \{W\}$$

الحمل الكلي

وعليه يمكن تصنيف الأءمال الحرارية كالأآي:

- أءمال الجءران: أءمال محسوسة
- أءمال الكسب الحراري نتيجة الإشعاع الشمسي: أءمال محسوسة
- أءمال الإضاءة: أءمال محسوسة
- أءمال التهوية: محسوسة وكامنة
- أءمال التهوية: أءمال محسوسة وكامنة
- أءمال الأجهزة والمعدات: تعتمد على نوعية المعدة أو الجهاز

مآال ٩:



شكل (٦ - ٨): مآال ٩

الرسم الموضح في الشكل (٦ - ٨) أعلاه يبين مبنى مكيف عند  $24^{\circ}\text{C}(\text{db}), 50\% \text{RH}$  . للمبنى جءار زجاجي من الناحية الجنوبية بطول 24m وارتفاع 4.25m و 3m أبواب خشبية أبعاد كل باب 2.5m × 2m . معامل انتقال الحرارة الكلي لمكونات المبنى كالأآي: .

$$U = 0.7 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

■ الحوائط

$$U = 0.5 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

■ السقف

$$U = 3.2 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

■ الجدار الزجاجي

$$U = 1.6 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

■ الأبواب

100

- عدد الأشخاص بالمبنى

- كمية حرارة الأيض لكل شخص  $72 \text{ W}$  حرارة محسوسة و  $45 \text{ W}$  حرارة كامنة

$$5 \text{ L/s}$$

- معدل التهوية للمبنى لكل شخص

$$10 \text{ W/m}^2$$

- الإضاءة

باعتبار الأحوال الخارجية التالية  $10^\circ \text{C (db)}, 6^\circ \text{C (wb)}$  ، أوجد الحمل المحسوس ، الكامن والكلي ومن ثم أوجد معامل الحرارة المحسوسة للغرفة.

الحل:

بما أن درجات الأحوال الخارجية تقل عن درجات الحرارة للأحوال الداخلية فالأحوال هي شتاء وعليه يمكن إهمال الحرارة المكتسبة بالإشعاع وكذلك انتقال الحرارة عن طريق الأرضية وعليه تكون الأحمال الحرارية كما يلي:

(أ) الفقد الحراري بالتوصيل للجدران كما موضح في الجدول (٦ - ١٧):

$$Q_w = \Sigma UA(T_o - T_i)$$

$Q_w \{W\}$	$(T_o - T_i)$	$A(m^2)$	$U \{W / m^2 K\}$	
-749.7	-14	76.5	0.7	الجدران الشرقية
-749.7	-14	76.5	0.7	الجدران الغربية
-957.95	-14	8.5	0.7	الجدران الجنوبية
-83.3	-14	102	0.7	الجدران الشمالية
-4569.6	-14	102	3.2	الجدار الزجاجي
-33.6	-14	15	1.6	الأبواب الخشبية
-3528	-14	504	0.5	السقف
<b>-10713.5</b>	انتقال الحرارة بالتوصيل للجدران			

جدول (٦ - ١٧): مثال ٩



$$Q_w = -10713.5 \text{ W} = -10.714 \text{ kW}$$

الفقد الحراري بالتوصيل للجدران ( $Q_w$ )

$$Q_L = 10 \times 28 \times 18$$

الكسب الحراري من الإضاءة

$$= 5040 \text{ W} = 5.040 \text{ kW}$$

$$Q_{p_s} = n \times q_{p_s} \times (D.F.)$$

الكسب الحراري المحسوس من الأشخاص

$$= 100 \times 72 \times 1 = 7200 \text{ W} = 7.200 \text{ kW}$$

$$Q_{p_L} = n \times q_{p_L} \times (D.F.)$$

الكسب الحراري الكامن الأشخاص

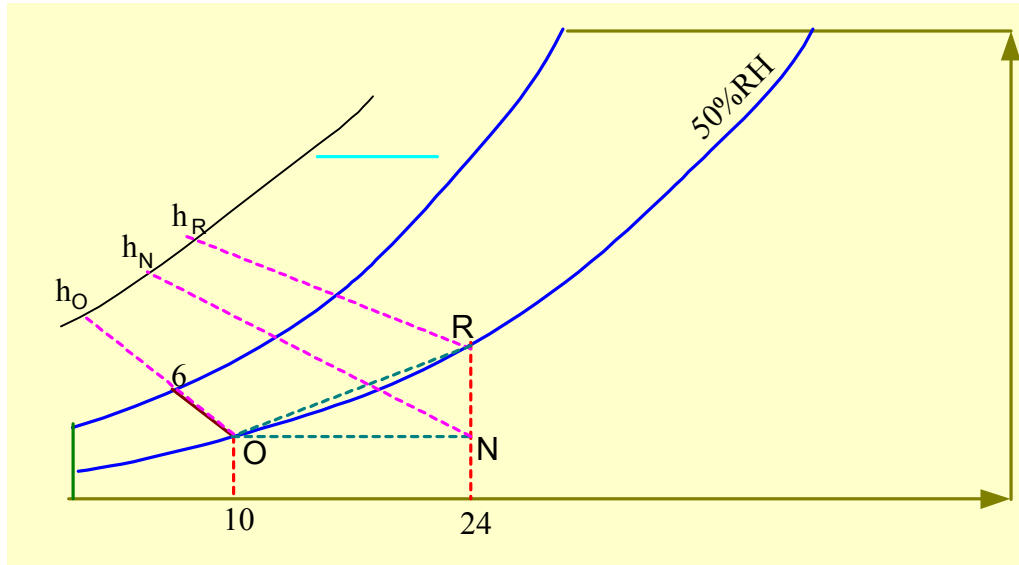
$$= 100 \times 45 \times 1 = 4500 \text{ W} = 4.500 \text{ kW}$$

$$Q_p = Q_{p_s} + Q_{p_L}$$

الحرارة الكلية المكتسبة من الأشخاص

$$= 7200 + 4500 = 11700 \text{ W} = 11.700 \text{ kW}$$

الفقد الحراري للتهوية



شكل (٦ - ٩): مثال ٩

من الخريطة السيكرومترية:

$$h_R = 48.5 \text{ kJ/kg}$$

$$v_o = 0.807 \text{ m}^3/\text{kg}$$

للأحوال الخارجية

$$h_O = 20.5 \text{ kJ/kg}$$

$$h_N = 34.5 \text{ kJ/kg}$$

للأحوال الداخلية

$$\dot{V} = 5 \times 100 = 500 \text{ L/s} = 0.500 \text{ m}^3/\text{s}$$

معدل السريان الحجمي لهواء التهوية

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{v_o} = \frac{0.500}{0.807} = 0.62 \text{ kg/s}$$

معدل سريان الكتلة لهواء التهوية

$$Q_{v_s} = \dot{m}(h_o - h_N)$$

الفءء الحراري المءسوس لهواء التهوية

$$= 0.62 (20.5 - 34.5) = -8.680 \text{ kW}$$

$$Q_{v_l} = \dot{m}(h_N - h_R)$$

الفءء الحراري الكامن لهواء التهوية

$$= 0.62(34.5 - 48.5) = -8.680 \text{ kW}$$

$$Q_v = Q_{v_s} + Q_{v_l}$$

$$= -8.680 + -8.680 = -17.36 \text{ kW}$$

$$Q_v = \dot{m}(h_o - h_R)$$

أو

$$= 0.62(20.5 - 48.5) = -17.36 \text{ kW}$$

إءن يمكن تحليل الءمل الحراري الكلي للءرفة كما يلي ( $Q_{RT}$ )

مءونات الءمل	ءمل مءسوس ( $Q_{RS}$ ) (kW)	ءمل كامن ( $Q_{RL}$ ) (kW)
الفءء الحراري بالتوصيل للجءران ( $Q_w$ )	-10.714	-
الكسب الحراري من الإضاءة ( $Q_L$ )	+5.040	-
الكسب الحراري من الأشخاص ( $Q_p$ )	+7.200	+4.500
الفءء الحراري للتهوية ( $Q_v$ )	-8.680	-8.680
الءمل الحراري الكلي للءرفة ( $Q_{RT}$ )	-7.154	-4.180

ءءول (٦-١٨): مءال ٩

$$Q_{RT} = Q_{RS} + Q_{RL}$$

الءمل الحراري الكلي للءرفة

$$= -7.154 - 4.180 = -11.334 \text{ kW}$$

$$SHF = \frac{Q_{RS}}{Q_{RT}} = \frac{-7.154}{-11.334} = 0.63$$

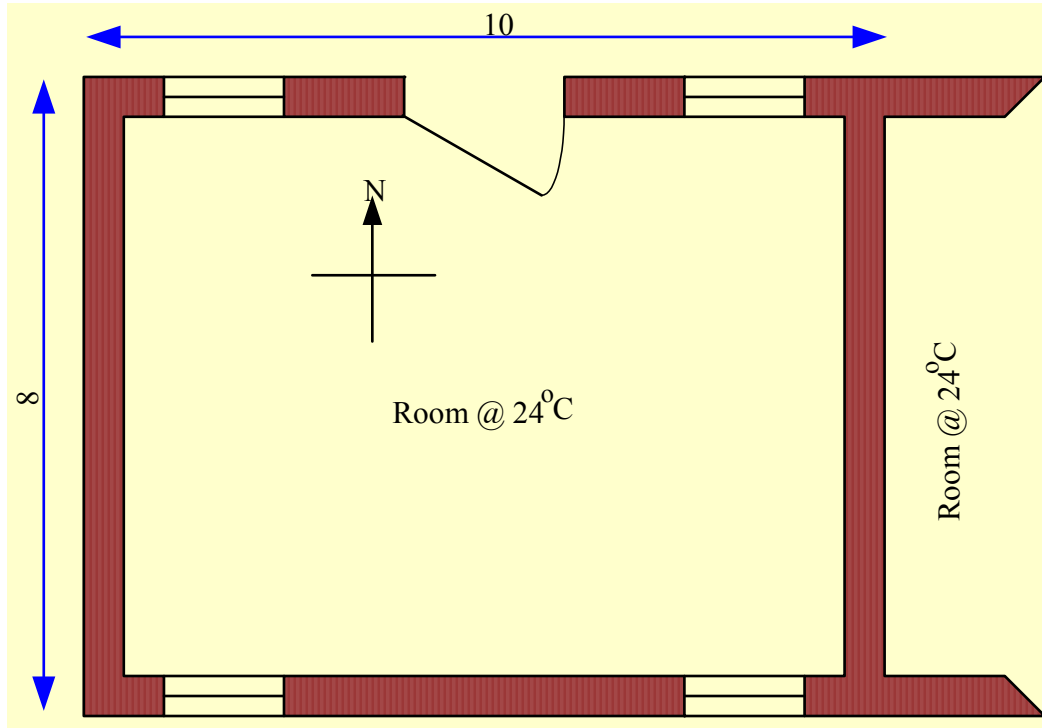
معامل الحرارة المءسوس للءرفة

### خلاصة

- الأحمال الحرارية تنقسم إلى أحمال محسوسة وأحمال كامنة.
- الأحمال الحرارية للحيز المكيف تكون نتيجة:
  - أ - انتقال الحرارة بالتوصيل خلال الجدران
  - ب - الكسب الحراري بالإشعاع والتوصيل نتيجة أشعة الشمس
  - ج - أحمال التهوية و/أو التسرب
  - د - الحرارة المكتسبة نتيجة وجود الأشخاص
  - هـ - الحرارة المكتسبة من الإضاءة
  - و - الحرارة المكتسبة من الأجهزة والمعدات
- تستعمل نفس المعادلات لأحمال التبريد والتدفئة. وعند حساب أحمال التدفئة يمكن إهمال الحرارة المكتسبة نتيجة الإشعاع والتوصيل نتيجة أشعة الشمس نسبة لأن أحمال التدفئة تؤخذ عادة بالليل. كما إنه يمكن إهمال أحمال الأشخاص والإضاءة إلا في المحلات التجارية والمسارح.
- يمكن تقليل الأحمال الحرارية للمبنى عن طريق :
  - أ - استعمال مواد بناء لها معامل توصيل حراري منخفض كالعوازل مثلاً
  - ب - تجنب الألوان الغامقة في المباني
  - ج - تقليل نسبة المساحات الزجاجية في المبنى .
  - د - للمساحات الزجاجية يمكن عمل ستائر خارجية و استعمال زجاج ذو طبقتين double-glazing مع مراعاة التظليل للزجاج.
  - هـ - أحكام المبنى للتقليل من هواء التسرب
  - و - استعمال الإضاءة المناسبة واللمبات ذات الكفاءة الحرارية العالية.

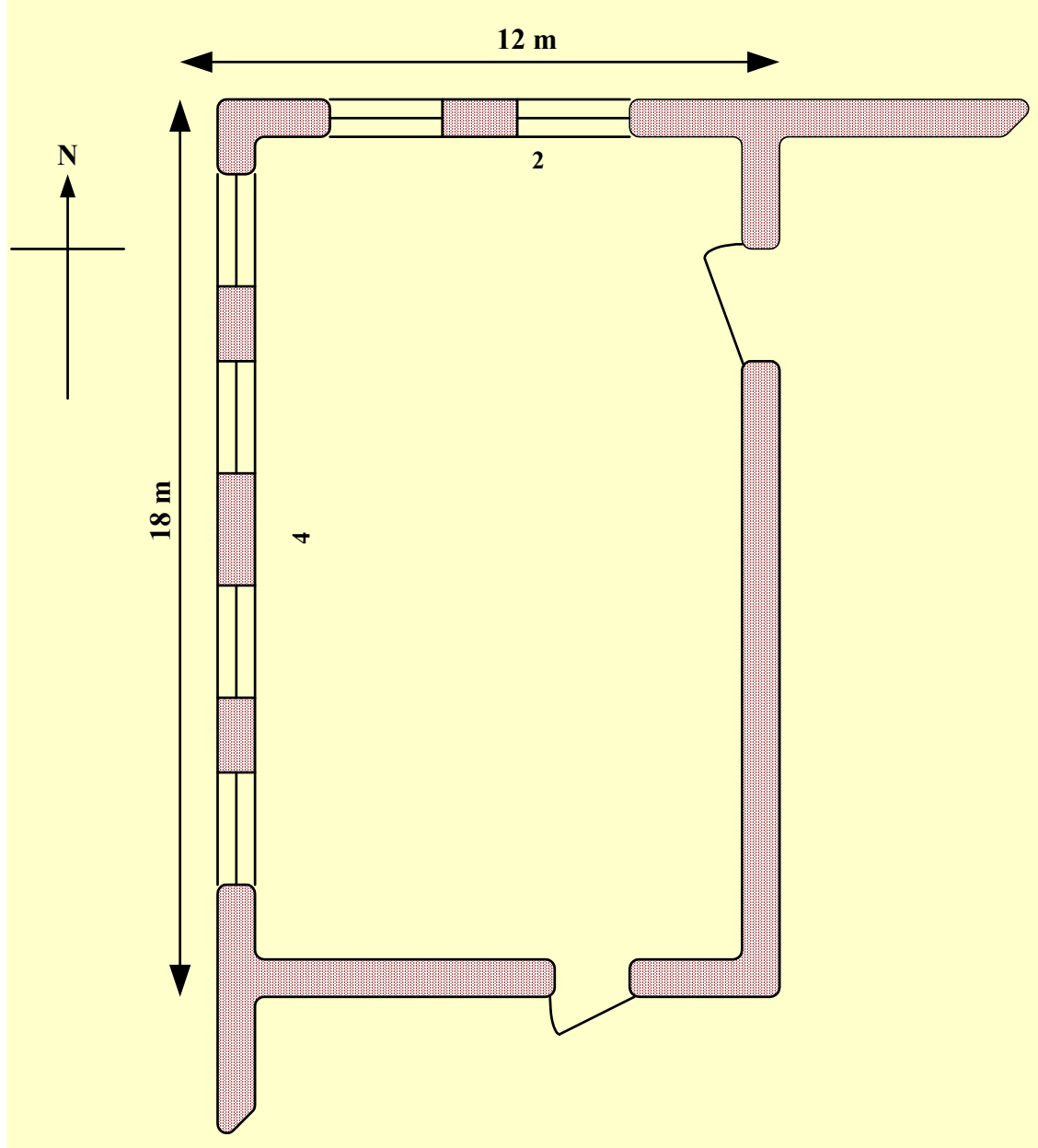
## تمارين

- ١- حائط أبعاده  $4m \times 3m$  وله معامل حراري كلي  $U = 0.57 W / m^2 K$  بها باب أبعاده  $1m \times 2m$  وله معامل حراري  $U = 1.6 W / m^2 K$  وأيضا به نافذة زجاجية أبعادها  $1.5m \times 0.75m$ . معامل انتقال الحرارة الكلي للزجاج  $U = 3.2 W / m^2 K$ . أوجد معدل انتقال الحرارة خلال هذا الحائط ومكوناته إذا كان فرق درجات الحرارة بين الداخل والخارج يساوي  $\Delta T = 16 K$ .
- ٢- مكتب أبعاده  $8m \times 6m \times 3m$  ومعدل تغير هواء التهوية للمكتب  $ACH=2$ . أوجد معدل التهوية الحجمي للمكتب.
- ٣- مكتب أبعاد مساحته  $8m \times 6m$ ، يراد إضاءته بمعدل  $60 W / m^2$ . أوجد عدد اللمبات قدرة  $40 W$  التي يجب تركيبها للمكتب وأيضا حمل الإضاءة في حالة استعمال:
- أ - لمبات فلورسنت  
ب - لمبات عادية
- ٤- الرسم أدناه يبين غرفة طولها  $10 m$  وعرضها  $8 m$  وارتفاعها  $3 m$  وبها عدد واحد باب مساحته  $3 m^2$  وأربع شبابيك زجاج مساحة كل واحد منها  $1.5 m^2$ . ودرجة حرارة الغرفة  $24 ^\circ C$  كما موضح وأيضا درجة حرارة الغرفة المجاورة لها  $24 ^\circ C$ . إذا علمت درجات الحرارة التالية:-
- درجة الحرارة الجافة الخارجية  $40 ^\circ C$   
- درجة حرارة التربة  $27 ^\circ C$   
- فرق درجات الحرارة نتيجة الشمس للناحية الجنوبية  $7 ^\circ C$   
- فرق درجات الحرارة نتيجة الشمس للناحية الغربية  $3 ^\circ C$   
ومعامل التوصيل الحراري الكلي (U) كما يلي:-
- الحوائط  $2.4 W / m^2 K$   
- الأرضية  $0.6 W / m^2 K$   
- الباب  $2.0 W / m^2 K$   
- الشبابيك  $5.6 W / m^2 K$
- ومعدل اكتساب الحرارة خلال الزجاج بالإشعاع لكل من:
- الاتجاه الغربي  $300 W / m^2$   
الاتجاه الجنوبي  $200 W / m^2$
- احسب معدل انتقال الحرارة خلال الجدران مع إهمال انتقال الحرارة خلال السقف (لوجود غرفة في الدور العلوي منها عند نفس درجة الحرارة).



- ٥- الرسم أدناه يوضح مكتبا يراد تكييفه. تم معرفة المعلومات الأولية التالية:
- أحوال المكتب الداخلية  $24^{\circ}\text{C}(db), 50\%RH$
  - الأحوال الخارجية  $35^{\circ}\text{C}(db), 26^{\circ}\text{C}(wb)$
  - عدد شاغلي المكتب 30 شخصا
  - الإضاءة 400 W
  - ارتفاع السقف 3 m
  - المبنى به 6 شبابيك زجاجية أبعاد كل منها  $1.2\text{m} \times 3\text{m}$  و عدد 2 باب أبعادها كالاتي :
  - $1.5\text{m} \times 3\text{m}$  من الناحية الشرقية و  $1.5\text{m} \times 1.2\text{m}$  من الاتجاه الجنوبي كما في الرسم.
  - المباني المجاورة والمبنى الذي يعلو المكتب عند درجة حرارة  $30^{\circ}\text{C}(db)$  بينما المبنى الذي تحت المكتب عند درجة حرارة  $24^{\circ}\text{C}(db)$
  - معامل انتقال الحرارة الكلي كما يلي :-
- الحوائط الخارجية  $U = 1.6 \text{ W / m}^2 \text{ K}$
  - الحوائط الداخلية (بين المباني)  $U = 2.5 \text{ W / m}^2 \text{ K}$
  - السقف والأرضية  $U = 1.5 \text{ W / m}^2 \text{ K}$
  - الشبابيك الزجاجية  $U = 3.2 \text{ W / m}^2 \text{ K}$
  - الأبواب  $U = 1.8 \text{ W / m}^2 \text{ K}$

بافتراض قيم مناسبة لتأثير الشمس ومعدلات التهوية ، أوءء الحمل الكلي للمبنى.  
 أوءء الحمل الحراري للمبنى إذا كانت الأحوال الخارجية  $10^{\circ}\text{C}(\text{db}), 6^{\circ}\text{C}(\text{db})$  مع عمل أي افتراضات  
 ءءيدة تراها مناسبة مع التعليل.



## اختبار ذاتي

## السؤال الأول

ضع علامة (✓) للإجابة الصحيحة وعلامة (X) للإجابة الخاطئة:

(أ) الهواء الجوي عبارة عن 80 % أوكسجين و 20 % نيتروجين ( )

(ب) عند تسخين الهواء الرطب تزداد رطوبته النسبية ( )

(ج) الرطوبة النسبية المنخفضة للهواء تساعد على تبخر العرق من الجسم ( )

(د) هواء عند  $35^{\circ}C(db), 30\% RH$  تم تبريده إلى  $12^{\circ}C(db), 10^{\circ}C(wb)$  إذن يحدث تكثف لبخار الماء ( )

(هـ) الستائر على المساحات الزجاجية تزيد من عملية انتقال الحرارة للمبنى .

(و) كلما زاد عدد الأشخاص لحيز ما ، كلما قل حمل التدفئة للمبنى ( )

(ز) هواء جوي عند  $12^{\circ}C, 10^{\circ}C$  ، عليه تكون درجة الحرارة الرطبة هي  $12^{\circ}C$  والجافة هي  $10^{\circ}C$  ( )

(ح) كلما زادت درجة حرارة الهواء ، كلما زاد حجمه النوعي ( )

(ط) معامل التلامس ملف التبريد يعتمد على نوعية ملف التبريد فقط ( )

(ك) عملية الحقن بالبخر تكون عند ثبوت درجة الحرارة الجافة تقريباً ( )

## السؤال الثاني

وحدة مناولة هواء (AHU) تتكون من مرطب بخار وملف تسخين على التوالي . الحمل المحسوس للحيز هو

40 kW ومعامل الحرارة المحسوس للحيز يساوي 80%. تم خلط 40% من الهواء الراجع مع 60% من الهواء

النقي . تم إعطاء المعلومات التالية:

$25^{\circ}C(db), 50\% RH$

- الظروف الداخلية

$10^{\circ}C(db), 6^{\circ}C(wb)$

- الظروف الخارجية

$35^{\circ}C(db)$

- درجة حرارة هواء التغذية للغرفة عند الأحوال الداخلية

مستعملا المعلومات المعطاة ، ارسم العمليات المذكورة على الخريطة السيكمرومترية ومن ثم أوجد :

(i) - معدل سريان هواء التغذية للغرفة

(ii) - سعة ملف التسخين

(iii) - كمية بخار الترطيب

## السؤال الثالث

مكتب أبعاده  $6m \times 5m \times 3m$  ، به شباكين زجاجيين مساحة كل شباك  $3m \times 2m$  وباب خشبي واحد أيضاً أبعاده  $1.5m \times 2m$  ( كما في الرسم المرفق ). المكتب به عدد 10 أشخاص وكمية الحرارة الكلية الناتجة من الشخص الواحد هي  $132\text{ W}$ . إضاءة المكتب تتم عن طريق 16 لمبة فلورسنت قدرة كل لمبة  $50\text{ W}$ . معدل تغير الهواء للمكتب  $ACH=2$ . أحوال التصميم الداخلية هي  $25^\circ\text{C}(db), 50\%RH$  بينما أحوال التصميم الخارجية هي  $10^\circ\text{C}(db), 6^\circ\text{C}(wb)$ . المكتب المجاور عند درجة حرارة  $26^\circ\text{C}(db)$ .

- معامل انتقال الحرارة الكلي لمواد بناء الغرفة هي :

$$1.6\text{ W/m}^2\text{ K}$$

◆ معامل انتقال الحرارة الكلي للحوائط

$$3.2\text{ W/m}^2\text{ K}$$

◆ معامل انتقال الحرارة الكلي للمساحات الزجاجية

$$1.8\text{ W/m}^2\text{ K}$$

◆ معامل انتقال الحرارة الكلي للباب الخشبي

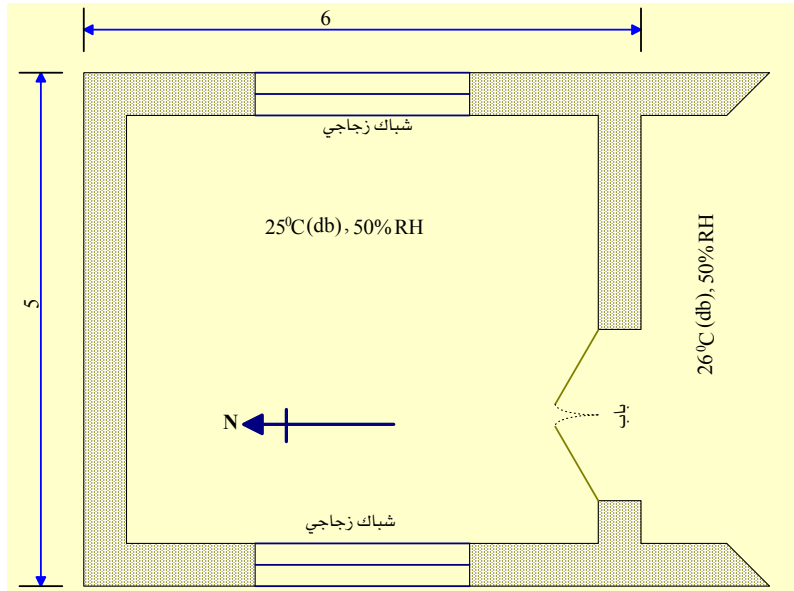
احسب الآتي:

أ . اوجد حمل الحوائط الرأسية بما في ذلك الشباك الزجاجي والباب باعتبار فرق درجات الحرارة

ب . حمل الأشخاص

ج . حمل الاضاءة

د . حمل التهوية .





## حل الاختبار الذاتي

### السؤال الأول

ضع علامة (✓) للإجابة الصحيحة وعلامة (X) للإجابة غير الصحيحة :

- أ) - الهواء الجوي عبارة عن 80 % أوكسجين و 20 % نيتروجين (X)
- ب) عند تسخين الهواء الرطب تزداد رطوبته النسبية (X)
- ج) - الرطوبة النسبية المنخفضة للهواء تساعد على تبخر العرق من الجسم (✓)
- د) هواء عند  $35^{\circ}C(db), 30\% RH$  تم تبريده إلى  $12^{\circ}C(db), 10^{\circ}C(wb)$  إذن يحدث تكثف لبخار الماء (✓)
- هـ) الستائر على المساحات الزجاجية تزيد من عملية انتقال الحرارة للمبنى (X).
- و) كلما زاد عدد الأشخاص لحيز ما ، كلما قل حمل التدفئة للمبنى (✓)
- ز) هواء جوي عند  $12^{\circ}C, 10^{\circ}C$  ، عليه تكون درجة الحرارة الرطبة هي  $12^{\circ}C$  و الجافة هي  $10^{\circ}C$  (X)
- ح) كلما زادت درجة حرارة الهواء ، كلما زاد حجمه النوعي (✓)
- ط) معامل التلامس ملف التبريد يعتمد على نوعية ملف التبريد فقط (X)
- ك) عملية الحقن بالبخار تكون عند ثبوت درجة الحرارة الجافة تقريباً (✓)

### السؤال الثاني

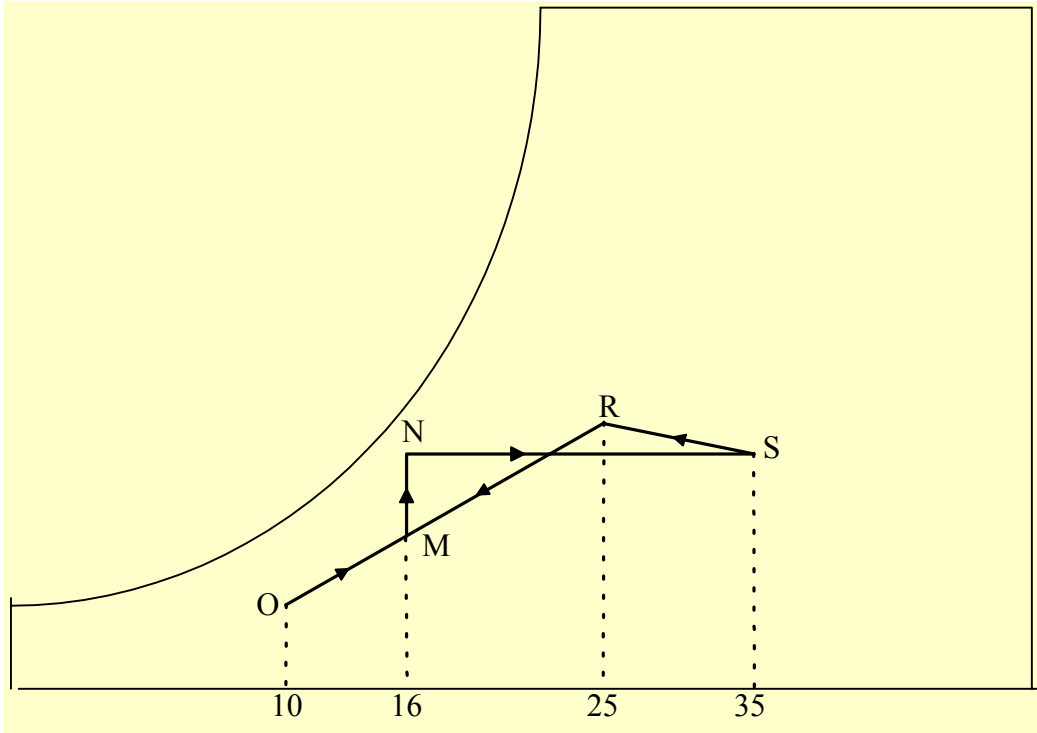
لايجاد درجة الحرارة الجافة لنقطة الخلط من المعادلة التالية:

$$T_M = \frac{\dot{m}_O T_O + \dot{m}_R T_R}{\dot{m}_O + \dot{m}_R}$$

$$= \frac{0.6 \times 10 + 0.4 \times 25}{0.4 + 0.6}$$

$$= 16^{\circ}C$$

عليه يمكن تحديد النقطة M بين النقطتين O و R وبقية درجة الحرارة الجافة للنقطة M تساوي  $16^{\circ}C$  بعدها يتم رسم SHF وبقية 0.8 من النقطة R إلى النقطة S) عند درجة الحرارة الجافة  $35^{\circ}C$  كما موضح في السؤال)



الخط  $NS$  يمثل التسخين المحسوس والخط  $MN$  عملية ترطيب بالبخر تقريباً  
عليه يكون الشكل كالتالي:

من الشكل السابق نجد أن :

$$h_s = 58.5 \text{ kJ/kg}$$

$$w_N = 0.0092 \text{ kg/kg}$$

$$h_N = 39.5 \text{ kJ/kg}$$

$$w_M = 0.0065 \text{ kg/kg}$$

معدل سريان هواء التغذية ( $\dot{m}$ )

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \frac{Q_s}{c_p \times \Delta T} \\ &= \frac{40}{1 \times 10} = 4 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

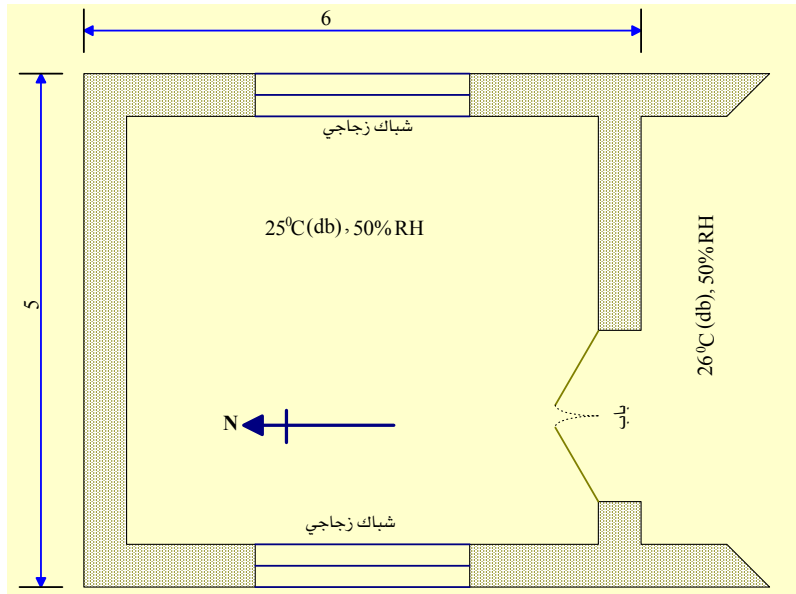
سعة ملف التسخين ( $Q_{hc}$ )

$$\begin{aligned} Q_{hc} &= \dot{m} \Delta h = \dot{m} (h_s - h_N) \\ &= 4 \times (58.5 - 39.5) \\ &= 76 \text{ kW} \end{aligned}$$

كمية ماء الترطيب ( $\dot{m}_w$ )

$$\begin{aligned} \dot{m}_w &= 3600 \dot{m} (w_N - w_M) \\ &= 3600 \times 4 \times (0.0092 - 0.0065) \\ &= 38.88 \text{ L/hr} \end{aligned}$$

## السؤال الثالث



أ. الفءء الحراري للءوائط الرأسية

$$Q_w = \sum AU\Delta T$$

المعادلة :

$$\Delta T = T_o - T_i$$

$Q_w$ W	$Q_w$ W	$\Delta T$ °C	$U$ W / m <sup>2</sup> K	$A$ m <sup>2</sup>	البان / الاءءاء
					الءوائط
	-360	-15	1.6	15	الشمال
	19.2	01	1.6	12	الءنوب
	-288	-15	1.6	12	الشرق
	-288	-15	1.6	12	الغرب
-916.8					
					الشبابيك الزجاجية
	-288	-15	3.2	6	الشرق
	-288	-15	3.2	6	الغرب
-576					
					الأبواب
-81		-15	1.8	3	الءنوب
-1573.8					

الكسب الحراري نتيجة الأشخاص ( $Q_p$ )

$$\begin{aligned} Q_p &= N \times q_p \\ &= 10 \times 132 \\ &= 1320 \text{ W} = 1.320 \text{ kW} \end{aligned}$$

الكسب الحراري نتيجة الإضاءة ( $Q_L$ )

$$\begin{aligned} Q_L &= N \times F \times P \\ &= 16 \times 1.25 \times 50 \\ &= 1000 \text{ W} = 1.000 \text{ kW} \end{aligned}$$

الفقد الحراري نتيجة التهوية ( $Q_v$ )

$$\begin{aligned} V &= 6 \times 5 \times 3 \\ &= 90 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

حجم الغرفة

من الخريطة السيكرومترية:

$$v_o = 0.806 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

الحجم النوعي لهواء التغذية (هواء خارجي)

$$h_R = 50.5 \text{ kJ} / \text{kg}$$

$$h_o = 20 \text{ kJ} / \text{kg}$$

طاقة الإنثالبي الداخلية والخارجية

معدل سريان هواء التهوية ( $\dot{m}$ )

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \frac{V}{3600 v_o} \\ &= \frac{90}{3600 \times 0.806} \\ &= 0.031 \text{ kg} / \text{s} \end{aligned}$$

حمل التهوية

$$\begin{aligned} Q_v &= \dot{m}(h_o - h_R) \\ &= 0.031(20 - 50.5) \\ &= -0.9455 \text{ kW} \end{aligned}$$