الأحمال الحرارية
THERMAL LOADS
الراحة الحرارية للإنسان Human Thermal Comfort

جسم الإنسان من أدق الأجهزة التي تتحكم في درجة الحرارة. 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 ، عندئذ ترتفع حرارة الجلد وبالتالي يزداد معدل انتقال الحرارة إلى الخارج عن طريق التوصيل، الحمل والإشعاع . إذا لم يتم التخلص من هذه الحرارة بسرعة، عندئذ يبدأ الجسم بالتعرف للتخلص من كمية كبيرة من الحرارة الكامنة في الجلد عن طريق تبخر العرق ومن ثم يبرد الجسم أكثر وكذلك درجة حرارة الدم تحت الجلد.

عندما تبدأ حرارة جسم الإنسان تنخفض قليلاً عن المعدل الطبيعي . تبدأ الأوعية الدموية بالانكماش وبالتالي إلى يقل معدل سريان الدم الواصل إلى الجلد الخارجي. Perspiration slows down. عليه تقل كمية الحرارة المفقودة بواسطة سطح الجلد.

عليه يكون من وظيفة أي نظام تكييف للهواء هو مساعدة الجسم في معدل التخلص من كمية الحرارة الزائدة.

يمكن القول بأن الحرارة التي ينتجها الجسم من تناوله للأطعمة، تعادل تلك الحرارة التي يفقدها الجسم إلى الخارج..تم كتابة معادلة لتلك الحرارة بواسطة فانغر Fanger كما يلي:

$$\dot{Q} = \pm\dot{Q}_{skin} \pm \dot{Q}_{respiration}$$
$$= (\pm\dot{Q}_C \pm \dot{Q}_R \pm \dot{Q}_E)_{skin} + (\dot{Q}_C \pm \dot{Q}_E)_{respiration}$$

حيث نجد إن الجسم يكسب (+) أو يفقد (-) للحرارة عن طريق الجلد $(\dot{Q}_{skin})$ أو عن طريق التنفس $(\dot{Q}_{respiration})$ ويكونان عن طريق الحمل $(\dot{Q}_C)$ أو الإشعاع $(\dot{Q}_R)$ أو التنفس $(\dot{Q}_E)$ كما إن وجود الملابس على جسم الإنسان له تأثير على انتقال الحرارة بالحمل والإشعاع وكذلك التبخر زيادة على ذلك فإن حركة الإنسان لها تأثير على كمية الحرارة التي يستخرجها الجسم نتيجة التأيض metabolic heat generation

العوامل الأساسية التي تؤثر على راحة الإنسان هي:

هنالك ست عناصر تؤثر على راحة الإنسان. منها أربع عناصر بيئية وهي :

أ – درجة الحرارة الجافة (dry bulb temperature)

ب . متوسط درجة الحرارة الإشعاعية (mean radiant temperature)

ج . نسبة الرطوبة (relative humidity)

د . سرعة الهواء (air velocity)

وهناك عنصران شخصيان هما :

هـ . العزل نتيجة الملابس (clothes insulation)

و . مستوى حركة الشخص(level of activity)

أ. درجة الحرارة الجافة للهواء (*db*)

وفي هذا ننظر إلى مقدار درجة الحرارة ونوعيتها (رطبة أو جافة) كما يجب الانتباه هنا إلى الموقع (الارتفاع عن أرضية الحيز المكيف) الذي يعتمد عند قراءة مثل هذه الحرارة فمثلا يجب وضع الترمومترات(أو الثيرموستات)على ارتفاع بين "36 – 30 من أرضية الحيز المكيف.أما مقدار درجة الحرارة التي تعطي الراحة فهي تعتمد على الرطوبة وسنأتي لها لاحقا.

وتعرف درجة الحرارة المؤثرة Effective Temperature بأنها درجة الحرارة ـ عند التشبع ـ (عند 100%رطوبة نسبية) والتي تعطي نفس الإحساس بالدفء لمختلف درجات الحرارة والرطوبة عندما تكون سرعة الهواء fpm 25-15.

ووجد إن درجة الحرارة المؤثرة في الشتاء هي (20 ^{0}C)68 ^{0}F كما إن التوافقيات التالية هي التي تعطي الراحة للإنسان في الشتاء:

الرطوبة النسبية %	درجة الحرارة	
	°F	°C
10	78	25.6
20	76	24.4
30	75	23.9
40	74	23.3
50	73	22.8
60	72	22.2
70	71	21.7
80	70	21.1

جدول (٢ – ٥): درجات الحرارة المؤثرة (شتاءا)

أما في الصيف فدرجة الحرارة المؤثرة هي (22 ^{0}C) 71 ^{0}F كما إن التوافقيات التالية هي التي تعطي الراحة للإنسان في الصيف :

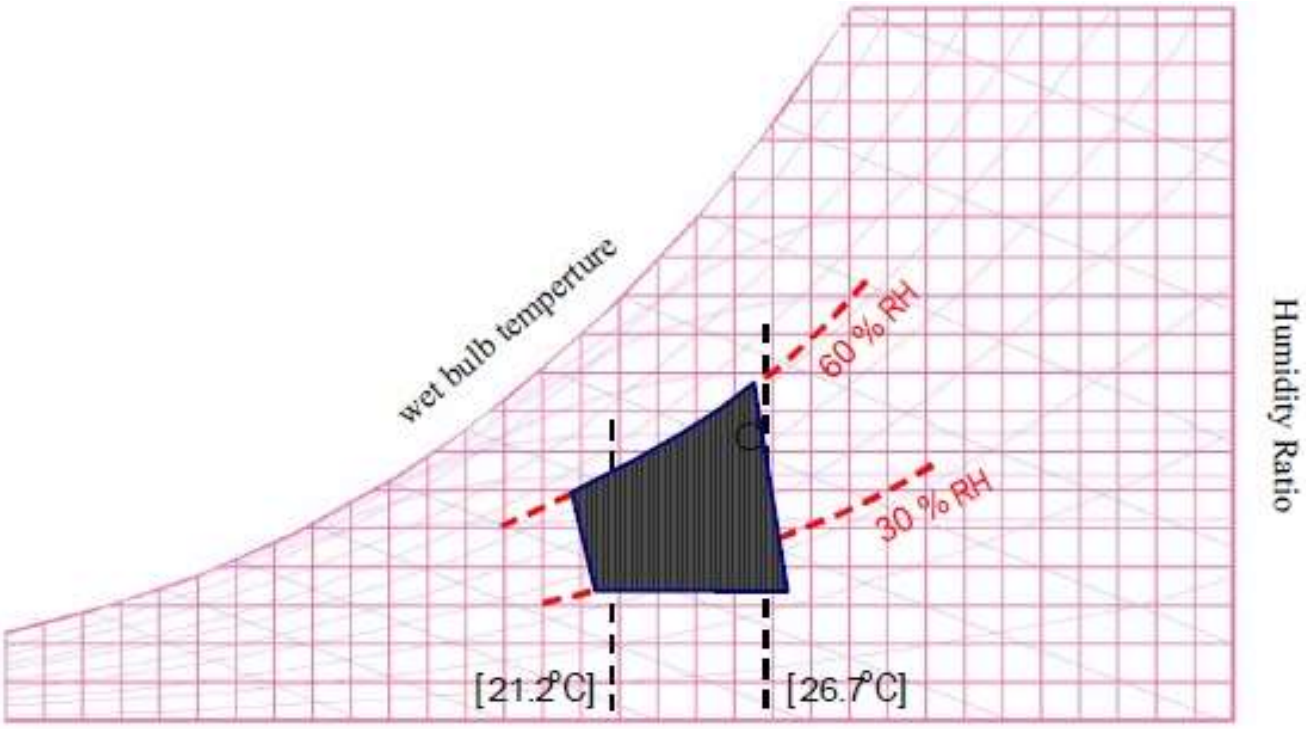
الرطوبة النسبية %	درجة الحرارة	
	^{0}F	^{0}C
25	80	26.7
30	79	26.1
40	78	25.6
50	77	25.0
60	75	23.9
70	74	23.3

جدول (٢ – ٦): درجات الحرارة المؤثرة

(صيفاً)

ومن ثم تم عمل خريطة الراحة comfort zone عند مختلف درجات الحرارة والرطوبة

وخريطة منطقة الراحة تعطي العلاقات المختلفة بين درجات الحرارة والرطوبة والتي يشعر فيها للشخص البالغ بالراحة وهو في حالة مستريح أو يزاول نشاطا خفيفا ويلبس لبسا عاديا عند هواء منخفض السرعة



شكل (٢ – ٢٤): منطقة الراحة

ب ـ سرعة الهواء

وجد إنه في حالة زيادة درجة حرارة الهواء فإنه يلزم الزيادة في سرعة الهواء . الجمعية الأمريكية لمهندسي التدفئة، التبريد وتكييف الهواء (ASHRAE) توصي بسرعة 30 *ft* / min للهواء صيفاً و 30 *ft* / min للهواء شتاء .

جـ ـ متوسط درجة الإشعاع **Mean radiant temperature** :

كثيرا ما يشعر الأشخاص الذين يكونون بجانب الجدران الباردة أو الأسطح الزجاجية ببرودة أكثر بالرغم من إن درجة حرارة الوسط المحيط في حدود منطقة الراحة.

د ـ نسبة الرطوبة **(relative humidity)**

تم التعليق عليه في الفقرة (أ)

أما العنصران الشخصيان وهما :

هـ ـ العزل نتيجة الملابس **(clothes insulation)**

الملابس حقيقة تجعلك مرتاحاً في يوم قد يكون حاراً أو بارداً وهي تعمل على عزل الجسم عن درجة الهواء الخارجي . ففي الشاء يستحسن زيادة العزل (ملابس ثقيلة) ، أما في الصيف فالملابس البيضاء والخفيفة (تقليل سمك وطبيعة العازل) هي الأحسن (يستحسن الملابس القطنية الطبيعية)

و ـ مستوى نشاط الشخص(level of activity)

كما اشرنا سابقاً ، يحافظ الجسم على درجة حرارته عن طريق توليد حرارة الأيض داخل الجسم ، فقدان الحرارة للخارج وثالثاً اكتساب الحرارة . والحرارة المتولدة من الشخص تعتمد على نوع النشاط بالنسبة للشخص حيث وجد إن متوسط كمية الحرارة المتولدة من الشخص العادي النائم تساوي تقريباً 87 W والذي يعمل في مكتب 115 W أما الذي يزاول رياضة كرياضة كرة السلة مثلا فكمية الحرارة المتولدة في هذه الحالة تساوي 440 W . زيادة النشاط الجسماني يؤدي إلى زيادة الرطوبة في الجسم نتيجة العرق والذي بدوره يعمل على تبريد الجسم .

كما لا يفوتنا إن نذكر هنا بأن الهواء الداخلي يجب إن يكون خاليا من الأتربة والروائح الكريهة ، كما إن نسبة ثاني أكسيد الكربون يجب إن لا تزيد عن 1000 ppm. لذا يلزم استعمال مرشحات ومنقيات للهواء وهذا ما يعرف بكفاءة الهواء الداخلي (Indoor Air Quality, IAQ)

تخمين الأحمال الحرارية Thermal Load Calculation

إكتساب 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.

الحمل الحراري في عمليات التكييف

الحمل الحراري في عمليات التكييف نوعان:

- حمل تبريد: وذلك صيفا عندما تكون الأحمال الحرارية المختلفة تضيف أو تزيد من درجة حرارة المكان المراد تكييفه.
- حمل تسخين: وذلك شتاء عندما تعمل الأحمال الحرارية المختلفة على تقليل درجة حرارة المكان المراد تكييفه.

يمكن تقسيم مصادر حمل التبريد إلى نوعين:

أ ـ أحمال خارجية External loads ومنها:

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

ii- الحرارة المنقولة من الخارج والناتجة 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 ـ 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** Sensible Loads (Q_s) **وأحمال كامنة** Latent Loads (Q_l)

عليه يمكن تقسيم الأحمال الحرارية لأي حيز مكيف على النحو التالي:ـ

- 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
- الحمل 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)

اعتبارات التصميم الابتدائية Initial Design Consideration :

لحساب حمل التبريد ، يلزم معرفة الت إلى :-

أ - خصائص المبنى Building Characteristics

يجب معرفة خصائص مواد البناء للحيز وأبعاده (يستحسن وجود رسم أو مخطط للمبني) 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 .

الكسب الحراري للحيز وحمل التبريد للحيز Space Heat Gains & Space Cooling Load

الكسب الحراري للحيز هو معدل انتقال الحرارة للحيز خلال فترة زمنية معينة (time interval) والحمل الحراري للحيز هو معدل سحب الحرارة من خلال الحيز المكيف للحفاظ على أحوال التصميم الداخلية ثابتة .

أحمال التبريد للحيز Space Cooling Load

يمكن تقسيم أحمال التبريد الخارجية إلى :-

أ - الكسب الحراري بسبب انتقال الحرارة بالتوصيل خلال الجدران والأسقف (Q_w)

الحرارة المكتسبة عبر الحائط أوالجدار 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 للاختلاف في كمية الإشعاع الساقط على الجدار.

ظاهرة الانتقال غير المنتظم للحرارة عبر الجدار تعتبر عملية معقدة نسبة للكتلة الحرارية (thermal mass) للمبنى، حيث يتم تخزين الطاقة الحرارية المارة عبر الجدار ثم تصريفها إلى الداخل أو الخارج في وقت لاحق وهذا يعتمد على قيمتي زمن التخلف(time lag ,Φ) ومعامل النقصان (decrement factor, f) مما يصعب عملية حساب الأحمال .

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 .

حيث .

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

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

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

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

ومعامل الحرارة الكلي للجدران (U) يعتمد على الطبقات التي يتكون منها المبنى كما إن معامل الحرارة بالحمل للأسطح الداخلية (h_i) والأسطح الخارجية (h_o) يعتمدان على سرعة الهواء كما يظهر في الجدول(٢ ـ ٨) الت إلى :

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

جدول (٢ – ٩): معامل انتقال الحرارة بالحمل

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 :

سمك الحائط $x = \{m\}$

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

والجدول (٢ ـ ٩) الت إلى يوضح مقدار معامل الحرارة بالتوصيل k بالوحدات $\{W/mK\}$ لبعض المواد المكونة للحوائط:

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

جدول (٢ – ١٠): معامل التوصيل الحراري لبعض المواد

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

مثال٢:

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

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

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 المسائل على هيئة جدول كالتالي:

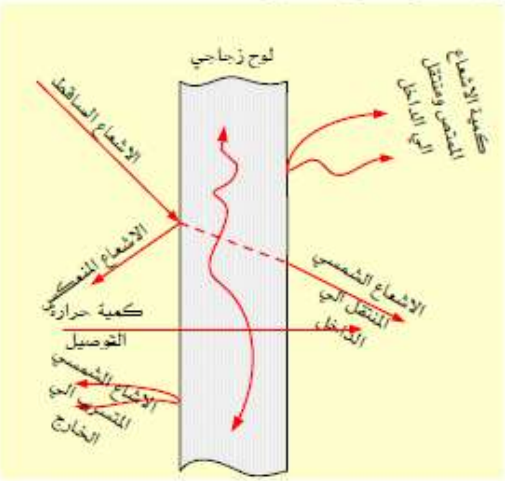
Q_w W	ΔT $°C$	A m^2	U W/m^2K	البيان
1981.4	16	51.6	2.4	الجدران الرأسية
96.0	16	3.0	2.0	الباب
483.8	16	5.4	5.6	الشبابيك
1382.4	24	24	2.4	السقف
43.2	03	24	0.6	الأرضية
3986.8	انتقال الحرارة بالتوصيل للجدران			

جدول (٢ – ١٥): مثال٢

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

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

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



شكل (٢ – ٢٧): 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:

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

شدة الإشعاع الشمسي $I = (W/m^2)$

معامل التظليل $SC = [None]$

حيث نجد إن انتقال الحرارة خلال الزجاج يختلف أيضا حسب نوعية التظليل كما إن 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 سفيفة	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 (٢ – ١٦): 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..

ج ـ الحمل الحراري للتسرب أو التهوية (Q_v) :ـ

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 المبنى (building quality) فكل ما كان المبنى محكما كلما قل هواء التسرب كذلك تعتمد كمية هواء التسرب على سرعة الريح حيث يزيد معدل هواء التهوية مع زيادة سرعة الريح.

قد يشكل تسرب الهواء من الجو المحيط إلى الحيز المكيف كسبا كاملا كبيرا ولدرجة أقل كسبا محسوسا للغرفة يمكن اختزال تأثير هذا التسرب في معظم التطبيقات التي تراعي فيها المواصفات الشياسية 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: أي: التسرب $\{m^3/s\}$ = (حجم الغرفة ×معدل معدل تغيير الهواء) ÷ 3600

هذه الطريقة شائعة الاستخدام ويمكن التعويل عليها لتأكيد نتائج الطرق الحسابية مثل التي يعزي 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 معدل تغيير الهواء 0.25 إلى 0.50.

الطريقة الأخرى لحساب معدل هواء التهوية (V) هو عن طريقة الشقوق (Crack method). ومعدل هواء التسرب في هذه الحالة يعتمد على مساحة الشقوق (A) وفرق الضغط بين الداخل والخارج (Δp) أي

$$V = AC\Delta p^n$$

حيث:

A= المساحة الفعالة للشقوق

C= معامل يعتمد على نوعية فتحة الشق ونوعية السريان

Δp= فرق الضغط بين الداخل والخارج

n= أس يعتمد على نوعية سريان الهواء في الشقوق $0.4 < n > 1.0$

لمثل هذه الحالات تم عمل جداول لتبين معدل سريان هواء التسرب.فالجدول (٢ . ١٦) يبين التسرب خلال الشبابيك لكل متر من أطوال الشقوق والجدول (٢ -١٧) يبين التسرب خلال الأبواب لأنماط الاستعمال الشائعة

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

جدول (٢ – ١٧): التسرب خلال الشبابيك

ملحوظة : حسبت القيم أعلاه لسرعة ريح مقدارها 3.35 m/s في الصيف.

جدول التسرب من خلال الأبواب:

معدل التسرب (L/s)			
نوع الباب	مغلق	استخدام عادي	مفتوح
أبواب دوارة	13	85	565
باب زجاجي $(2.73m \times 0.92m)$	45	165	330
باب خشبي $(2.00m \times 0.76m)$	5	35	236
باب خشبي $(2.13m \times 0.92m)$	9	64	330
باب خشبي $(2.13m \times 1.84m)$	38	85	660

جدول (٢ – ١٨): التسرب خلال الأبواب

ملحوظة : حسبت القيم أعلاه لسرعة ريح مقدارها 3.35 m/s في الصيف

المباني الكبيرة التي تستعمل غالبا التكييف المركزي ، تستعمل كمية هواء التهوية اللازمة بدلا من هواء التسرب

ينقسم هواء التهوية أو التسرب إلى قسمين:

١ـ حمل حراري محسوس Q_{vs}

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

حيث :

معدل سريان الهواء الحجمي $\dot{V} = [m^3 / s]$

الحجم النوعي للهواء الخارجي $v_o = [m^3 / kg]$

الحرارة النوعية للهواء $c_{p_{air}} = [1.006\ kJ / kgK]$

ii

٢ - حمل كامن (Q_{v_l})

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

حيث : الرطوبة النوعية للهواء الخارجي $\omega_o = [kg_{water} / kg_{air}]$

الرطوبة النوعية للهواء الداخلي $\omega_i = [kg_{water} / kg_{air}]$

الحرارة الكامنة للتبخير عند درجة الهواء الداخلي $h_{fg} = [2254\ kJ / kg]$

إذن فالحمل الكلي للتسرب أو التهوية (Q_v) هو مجموع الحمل المحسوس زائداً الحمل الكامن .

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

حيث : فرق الإنثالبي بين الهواء الداخلي والخارجي $\Delta h = [kJ / kg]$

كثير من المصممين يستعملون نظام معدل تغيير الهواء للغرفة /الساعة (N) حيث يحسب الحمل الكلي للتسرب أو التهوية (Q_v) بالمعادلة التالية

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

حيث:

حجم الحيز أو الغرفة $V = [m^3]$

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

جدول (٢ – ١٩): معدلات تغير الهواء (ACH)

٢ ـ 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 (١٩.٢)التالي:

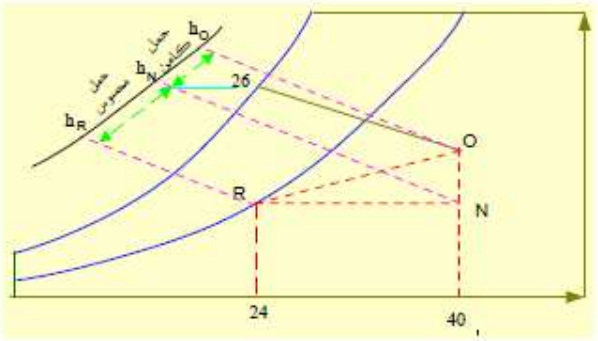
الاستخدام	التدخين	معدلات التهوية لكل شخص (L/s)	
		الأدنى	المفضل
شقة	أحيانا	7	9.5
مصرف	أحيانا	5	7.5
صالون	أحيانا	5	7.0
محلات تجارية	ممنوع	2.5	3.5
مصانع	ممنوع	3.5	5.0
مستشفيات	ممنوع	12	14
فنادق	شديد	12.0	14.0
غرف اجتماعات	شديد	14.0	24.0
مكاتب عامة	أحيانا	7.5	12.5
مطاعم	أحيانا	7.5	10.0
كفتيريا	أحيانا	3.5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

جدول (٢ – ٢٠): معدل التهوية

مثال٣ :

مكتب أبعاده الداخلية $3m \times 6\ m \times 8\ m$ مكيف عند $24°C(db),50\%RH$ أوجد الحمل المحسوس، الحمل الكامن والحمل الكلي للتهوية باعتبار معدل تغيير هواء الغرفة في الساعة، ACH=5 والأحوال الخارجية عند $40°C(db),26°C(wb)$

من الخريطة السيكرومترية:



شكل (٢ – ٢٩): مثال

$$h_R = 48.5\ kJ/kg \qquad h_O = 75.0 kJ/kg \qquad h_N = 65.0 kJ/g$$

$$v_0 = 0.908\ m^3/kg$$

∴معدل السريان الحجمي لهواء التهوية $\dot{V} = \frac{V \times ACH}{3600}$

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

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

معدل سريان هواء التهوية $\dot{m} = \frac{\dot{V}}{v_0} = \frac{0.2}{0.908} = 0.22\ kg/s$

حمل التهوية المحسوس $Q_{vs} = \dot{m}(h_N - h_R)$

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

حمل التهوية الكامن $Q_{vl} = \dot{m}(h_0 - h_N)$

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

حمل التهوية $Q_v = Q_{vs} + Q_{vl}$

$$Q_v = 3.63 + 2.2 = 5.83\ kW$$

أو

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

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

د . أحمال الإضاءة (Q_L)

تحسب أحمال الإضاءة من المعادلة التالية

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

حيث إن:

عدد اللمبات $N =$

قدرة اللمبة الواحدة $P = [W]$

المعامل (حسب نوع اللمبة) $F =$

=1.25 -1.30 for florescent lamps
= 1.0 for bulb lamps

معامل التباين $DF =$

يلاحظ إن قدرة اللمبات الفلورسنت زيدت بمقدار 30% -25 لتأخذ في الاعتبار القدرة اللازمة للمحول الذي يعمل مع اللمبات الفلورسنت . في الحسابات التقريبية نجد أننا ،نأخذ معامل التباين(يساوي واحد).

قد نحتاج في بعض الأحيان تحديد عدد اللمبات اللازمة لإضاءة حيز معين وفي هذه الحالة نستعمل الجداول التي توضح شدة الإضاءة اللازمة لكل استخدام مثال ذلك الجدول الت إلى :

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

جدول (٢ – ٢١): شدة الإضاءة

مثال ٤:

احسب الحمل 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:

$$Q_{light} = (N_1P_1)_{bulb} + (1.25N_2P_2)_{flourescent}$$

$$= 50\times100 + 1.25\times20\times40$$
$$= 5000 + 1000 = 6000\ W = 6\ kW$$

مثال٥:

حجرة دراسية مساحتها $50\ m^2$ يراد إضاءتها. أوجد عدد اللمبات التي يجب إن تركب في هذه الغرفة عند :

- عند اختيارنا لمبات عادية قدرة كل لمبة 100 W.
- عند اختيارنا لمبات فلورسنت قدرة كل لمبة 40 W.

و كذلك الحمل الحراري للإضاءة لهذه الحجرة.

الحل:

من الجدول السابق، نجد إن شدة الإضاءة للحجرة الدراسية تكون على الأقل $40\ W/m^2$ عليه يكون قدرة الإضاءة اللازمة للحجرة الدراسية (I)

$$I = 50\times40 = 2000\ W$$

عند اختيارنا للمبات العادية وباعتبار 100 W لكل لمبة ، فإن عدد اللمبات العادية(N_1) يكون :

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

ويكون عندئذ حمل الإضاءة هو $2000W$

إذا اخترنا لمبات فلورسنت قدرة كل لمبة 40 W ، عليه تكون عدد اللمبات الفلورسنت (N_2)

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

في هذه الحالة يكون الحمل الحراري

$$Q_{light} = (1.25N_2P_2)_{flourescent}$$
$$= 1.25\times50\times40 = 2500\ W$$

هـ . الحرارة المكتسبة من الأشخاص Heat of Occupants

يعطي شاغلو الأماكن المكيفة حرارة تتوقف على طبيعة حالة كل شخص . يعطي الإنسان حرارة محسوسة نتيجة اختلاف درجة حرارة جسمه $(37^{0}C)$ عن درجة الراحة داخل المكان المكيف كما يعطي حرارة كامنة نتيجة تبخر بخار الماء داخل الرئة وتبخر العرق من سطح جسمه المعرض للهواء .

و تتسرب الحرارة التي يولدها الإنسان بإحدى ثلاث طرق :

بالإشعاع كحرارة محسوسة ، بالحمل كحرارة محسوسة وتتبخر 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 المعدل الأيض metabolic rate الكلي.الجدول الت إلى 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 (٢ – ٢٢): الكسب الحراري للأشخاص (w)

تعين الحرارة المحسوسة التي يعطيها شاغلي المكان بالمعادلة التالية:

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

وتعين الحرارة الكامنة التي يعطيها شاغلي المكان بالمعادلة التالية

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

حيث إن:

- عدد الأشخاص داخل المكان المكيف = n
- معامل التباين (Diversity Factor) والذي يأخذ في الاعتبار عدم تواجد كل الأشخاص في نفس خطة حمل الذروة ويعين من الجداول . DF.=

- معدل الحرارة المحسوسة التي يعطيها كل شخص q_{p_s} =
- معدل الحرارة الكامنة التي يعطيها كل شخص q_{p_L} =

مثال ٦

احسب الحمل الحراري الكامن، المحسوس والكلي الناتج عن الأشخاص إذا كان عدد الأشخاص 100 يزاولون عملا بسيطا. ومتواجدين جميعا (DF=1)

الحل:

من الجدول السابق نجد إن الحارة الناتجة لكل شخص هي:

$q_s = 81\ W$ و $q_l = 139\ W$ و $q = 229\ W$

الحرارة المحسوسة لكل الأشخاص $Q_{p_s} = 100 \times 81 = 8100\ W$

الحرارة الكامنة لكل الأشخاص $Q_{pl} = 100 \times 139 = 13900\ W$

الحرارة الكلية لكل الأشخاص $Q_p = 100 \times 220 = 22000\ W = 22.0\ kW$

أو الحرارة الكلية لكل الأشخاص $Q_p = Q_{p_s} + Q_{p_l}$

$$Q_p = 8100 + 13900 = 22000\ W = 22.0\ kW$$

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–o.95	0.90 – 0.80

جدول (٢ — ٢٢): معامل التباين

و ـ حرارة المعدات Heat of Equipment

قد توجد داخل الأماكن المكيفة أجهزة ومعدات بعضها تعطي حرارة محسوسة فقط كالتليفزيونات وآلات التصوير..الخ وبعضها تعطي إضافة إلى الحرارة المحسوسة حرارة كامنة. تحدد حرارة كل جهاز أو معدة من الجداول أو الكتلوجات.

في حالة الموتورات يعين الحمل الحراري لها (Q_E) من العادلة التالية :

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

حيث إن:

E = القدرة اللازمة للمعدة

η = كفاءة الموتور

مثال٧

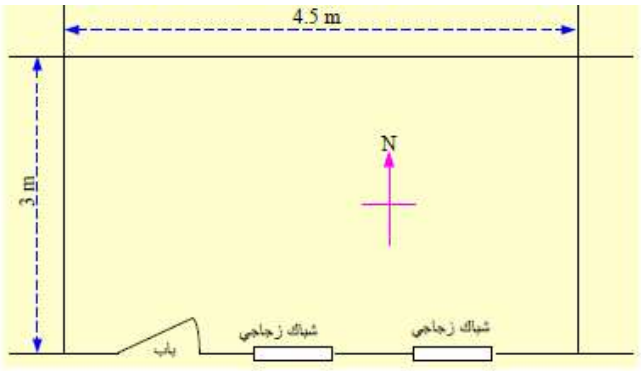
احسب الحمل الحراري الناتج عن استعمال عدد2 موتور كهربائي قدرة كل منها 0.5 kW وكفاءتها 70%.

الحل :

$$Q_E = \sum (1-\eta) E$$
$$= 2 \times (1-0.7) \times 0.5 = 0.30\ kW$$

مثال ٨ :

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



شكل (٢ – ٢٠): مثال

الحل :

حمل انتقال الحرارة للجدران (جدول٢ ـ ٢٢) $Q_w = 1438.86W = 1.439kW$

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

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

ومن الجداول $SC = 0.83$

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

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

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

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

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

الحرارة الكلية نتيجة أشعة الشمس

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

حمل الإضاءة $Q_L = N \times P \times F$

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

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

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

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

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

الحرارة الكلية المكتسبة من الأشخاص $Q_p = Q_{ps} + Q_{pl}$

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

حمل التهوية :

من الخريطة السيكرومترية :

للأحوال الخارجية $v_o = 0.916\ m^3/kg$ $h_o = 81\ kJ/kg$

للأحوال الداخلية $h_i = 58\ kJ/kg$

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

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

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

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

حمل الغرفة الكلي (Q_R) $Q_R = Q_w + Q_{sol} + Q_l + Q_p + Q_v$

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

الحرارة المنتقلة خلال الجدران $Q_w = \sum UA(T_o - T_i)$

$Q_w\{W\}$	$(T_o - T_i)$	$A(m^2)$	$U\{W/m^2K\}$	
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 (٢ – ٢٤): مثال

حساب أحمال التسخين Heating Load Calculation

تنقسم الحرارة المفقودة من الحيز المكيف إلى مجموعتين :-

أ - انتقال الحرارة خلال العناصر المحيطة والمكونة للحيز المكيف كالجدران ، الأرضية ، السقف، الزجاج ..الخ

ب - الحمل الحراري نتيجة تسرب الهواء من خلال الشقوق و الفتحات أو الحمل الحراري اللازم لتدفئة هواء التنفس الخارجي .

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

غالباً ما يكون وقت حساب حمل التسخين في ساعات الليل أي أنه غالباً ما يهمل حمل التوصيل بالإشعاع كما أنه يمكن إهمال بعض الأحمال(مثل الإضاءة والأشخاص) التي لا تؤثر كثيرا على حمل التسخين عندئذ إلا في المسارح والمعارض أو الأماكن التجارية.

يمكن الأخذ في الاعتبار الآتي عند حساب حمل الانتقال 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 أحمال الأشخاص والإضاءة والمعدات فإنها تقلل من حمل التسخين للحيز المكيف أي أنها عامل مساعد لأحمال التسخين

تستعمل نفس القوانين السابقة لإيجاد أحمال التسخين.

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:

الحمل المحسوس للحيز	$Q_s = \{W\}$
الحمل الكامن للحيز المكيف	$Q_l = \{W\}$
الحمل الكلي	$Q_T = \{W\}$

وعليه يمكن تصنيف الاحمال الحرارية كالاتي:

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

مثال ٩:

الرسم الت إلى يبين مبنى مكيف عند $24°C(db),50\%RH$. للمبنى جدار زجاجي من الناحية الجنوبية بطول 24m وارتفاع 4.25m و3 أبواب خشبية أبعاد كل باب $2m \times 2.5m$.معامل انتقال الحرارة الكلي لمكونات المبنى كالتالي:.

- الحوائط $U = 0.7\ W/m^2K$
- السقف $U = 0.5\ W/m^2K$
- الشبابيك الزجاجية $U = 3.2\ W/m^2K$
- الأبواب $U = 1.6\ W/m^2K$

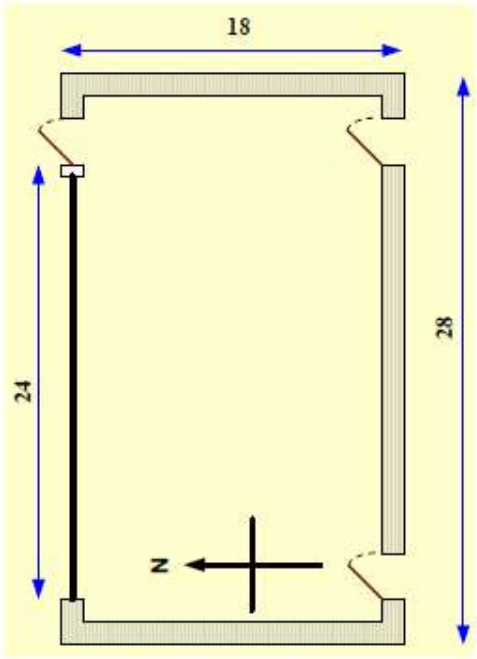
- عدد الأشخاص بالمبني 100

- كمية حرارة الأيض لكل شخص 72 W حرارة محسوسة و 45 W حرارة كامنة

- معدل التهوية للمبني لكل شخص 5 L/s

- الإضاءة 10 W/m^2

باعتبار الأحوال الخارجية التالية $10°C\ (db),6°C\ (db)$، أوجد الحمل المحسوس ، الكامن والكلي ومن ثم أوجد معامل الحرارة المحسوس للغرفة .



شكل (٢ – ٢١): مثال

الحل:

بما إن 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 هي:

انتقال الحرارة بالتوصيل للجدران $Q_w = \Sigma UA(T_o - T_i)$

حمل انتقال الحرارة بالتوصيل للجدران (Q_w) (انظر جدول ٢ ـ ٢٤)

$Q_w = -10713.5\ W = -10.714\ kW$

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

$= 5040W = 5.040kW$

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

$= 100 \times 72 \times 1 = 7200W = 7.200\ kW$

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

$= 100 \times 45 \times 1 = 4500\ W = 4.500\ kW$

الحرارة الكلية المكتسبة من الأشخاص $Q_p = Q_{p_S} + Q_{pl}$

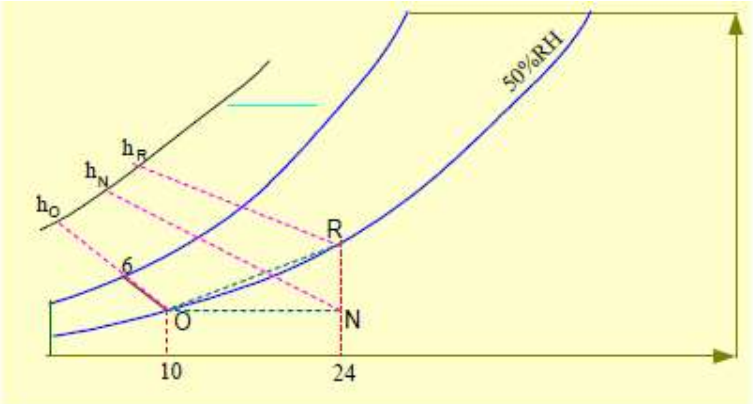
$= 7200 + 4500 = 11700\ W = 11.700\ kW$

$Q_w\{W\}$	$(T_o - T_i)$	$A(m^2)$	$U\{W/m^2K\}$	
-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	الشبابيك الزجاجية(الشمالية)
-33.6	-14	15	1.6	الأبواب الخشبية
-3528	-14	504	0.5	السقف
-10713.5	انتقال الحرارة بالتوصيل للجدران			

جدول (٢ – ٢٥): مثال ٩

حمل التهوية:

من الخريطة السيكرومترية:



شكل (٢ – ٢٢): مثال٩

للأحوال الخارجية $h_R = 48.5\ kJ/kg$ $v_o = 0.807\ m^3/kg$

للأحوال الداخلية $h_O = 20.5\ kJ/kg$ $h_N = 34.5\ kJ/kg$

المعدل الحجمي لهواء التهوية $\dot{V} = 5 \times 100 = 0500L/s = 0.500m^3/s$

معدل سريان هواء التهوية $$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{v_o} = \frac{0.500}{0.807} = 0.62kg/s$$

حمل التهوية المحسوس $$Q_{vs} = \dot{m}(h_O - h_N)$$

$$= 0.62(20.5 - 34.5) = -8.680kW$$

حمل التهوية الكامن $$Q_{vl} = \dot{m}(h_N - h_R)$$

$$= 0.62(34.5 - 48.5) = -8.680\ kW$$

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

$$= 0.62(20.5 - 48.5) = -17.36\ kW$$

أو $$Q_v = Q_{vs} + Q_{vl}$$

$$= -8.680 + -8.680 = -17.36\ kW$$

حمل الغرفة الكلي (Q_{RT})

		حمل محسوس(kW) Q_{Rs}	حمل كامن (kW) Q_{Rl}
حمل انتقال الحرارة بالتوصيل للجدران	(Q_w)	-10.714	
حمل الإضاءة	(Q_L)	5.040	
الحرارة الكلية المكتسبة من الأشخاص	(Q_p)	7.200	4.500
حمل التهوية	(Q_v)	-8.680	-8.680
حمل الغرفة الكلي	(Q_{RT})	-7.154	-4.180

جدول (٢ – ٢٦): مثال ٩

حمل الغرفة الكلي $$Q_{RT} = Q_{Rs} + Q_{Rl}$$

$$= -7.154 - 4.180 = -11.334\ kW$$

معامل الحرارة المحسوس للغرفة $$SHF = \frac{Q_{RS}}{Q_{R_T}} = \frac{-7.154}{-11.334} = 0.63$$

الخلاصة

-العوامل التي تؤثر على راحة الإنسان هي : درجة الحرارة، الرطوبة ، حرارة الإشعاع : سرعة الهواء ، حركة الشخص ونشاوة الهواء.

- خريطة منطقة الراحة : تعطي العلاقات المختلفة بين درجات الحرارة والرطوبة والتي يشعر فيها للشخص البالغ بالراحة وهو في حالة مستريح أو يزاول نشاطا خفيفا ويلبس لبسا عاديا عند هواء منخفض السرعة

- الأحمال الحرارية تنقسم إلى أحمال محسوسة وأحمال كامنة.

- الأحمال الحرارية للحيز المكيف تكون نتيجة:

أ ـ انتقال الحرارة بالتوصيل خلال الجدران

ب ـ الكسب الحراري بالإشعاع والتوصيل نتيجة أشعة الشمس

ج ـ أحمال التهوية و/أو التسرب

د ـ الحرارة المكتسبة نتيجة وجود الأشخاص

هـ ـ الحرارة المكتسبة من الإضاءة

و ـ الحرارة المكتسبة من الأجهزة والمعدات

ـ تستعمل نفس المعادلات لأحمال التبريد والتسخين. وعند حساب أحمال التسخين يمكن إهمال الحرارة المكتسبة نتيجة الإشعاع والتوصيل نتيجة أشعة الشمس نسبة لأن أحمال التسخين تؤخذ عادة بالليل. كما إنه يمكن إهمال أحمال الأشخاص والإضاءة إلا في المحلات التجارية والمسارح.

- يمكن تقليل الأحمال الحرارية للمبنى عن طريق :

أ ـ استعمال مواد بناء لها معامل توصيل حراري منخفض كالعوازل مثلا

ب ـ تجنب الألوان الغامقة في المباني

ج ـ تقليل نسبة المساحات الزجاجية في المبنى .

د ـ للمساحات الزجاجية يمكن عمل ستائر خارجية و استعمال زجاج ذو طبقتين double-glazing مع مراعاة التظليل للزجاج.

هـ ـ أحكام المبنى للتقليل من هواء التسرب

و ـ استعمال الإضاءة المناسبة واللمبات ذات الكفاءة الحرارية العالية.

تمارين

١ - اذكر خمسة من العوامل التي تؤثر على راحة الإنسان ؟

٢ – ما المقصود بعوامل التصميم الداخلية والخارجية ؟ وكيف تختارها؟

٣ – حائط أبعاده $4m \times 3m$ وله معامل حراري كلي $U = 0.57W/m^2K$ بها باب إبعاده $1m \times 2m$ وله معامل حراري $U = 1.6W/m^2K$ وأيضا به نافذة زجاجية أبعادها $1.5m \times 0.75m$. معامل انتقال الحرارة الكلي للزجاج $U = 3.2W/m^2K$. أوجد معدل انتقال الحرارة خلال هذا الحائط ومكوناته إذا كان فرق درجات الحرارة بين الداخل والخارج يساوي $\Delta T = 16K$.

٤ – مكتب أبعاده $8m \times 6m \times 3m$ ومعدل تغير هواء التهوية للمكتب ACH=2. أوجد معدل التهوية الحجمي للمكتب.

٥ - 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

٦- الرسم أدناه يبين غرفة طولها 10 m و عرضها 8 m وارتفاعها 3 m و بها عدد واحد باب مساحته $3\ m^2$ وأربع شبابيك زجاج مساحة كل واحد منها $1.5\ m^2$. ودرجة حرارة الغرفة 24 °C كما موضح وأيضا درجة حرارة الغرفة المجاورة لها 24 °C . إذا علمت درجات الحرارة التالية :.

. درجة الحرارة الجافة الخارجية 40 °C

. درجة حرارة التربة 27 °C

. فرق درجات الحرارة نتيجة الشمس للناحية الجنوبية 7 °C

. فرق درجات الحرارة نتيجة الشمس للناحية الغربية 3 °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

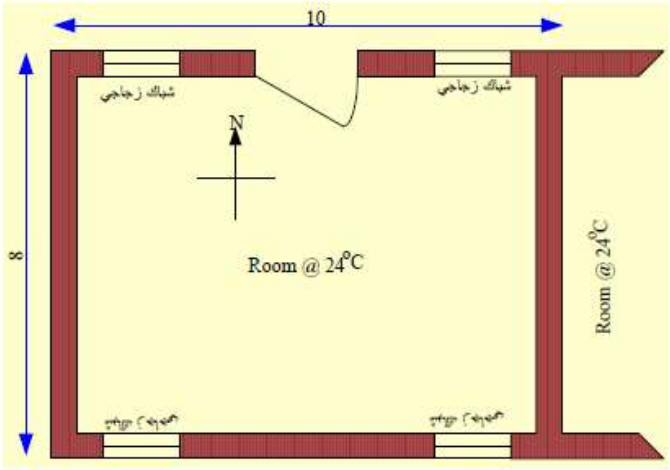
. الشبابيك 5.6 W/ m^2 K

ومعدل اكتساب الحرارة خلال الزجاج بالإشعاع لكل من:

الاتجـاه الغربي 300 W/m^2

الاتجـاه 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).

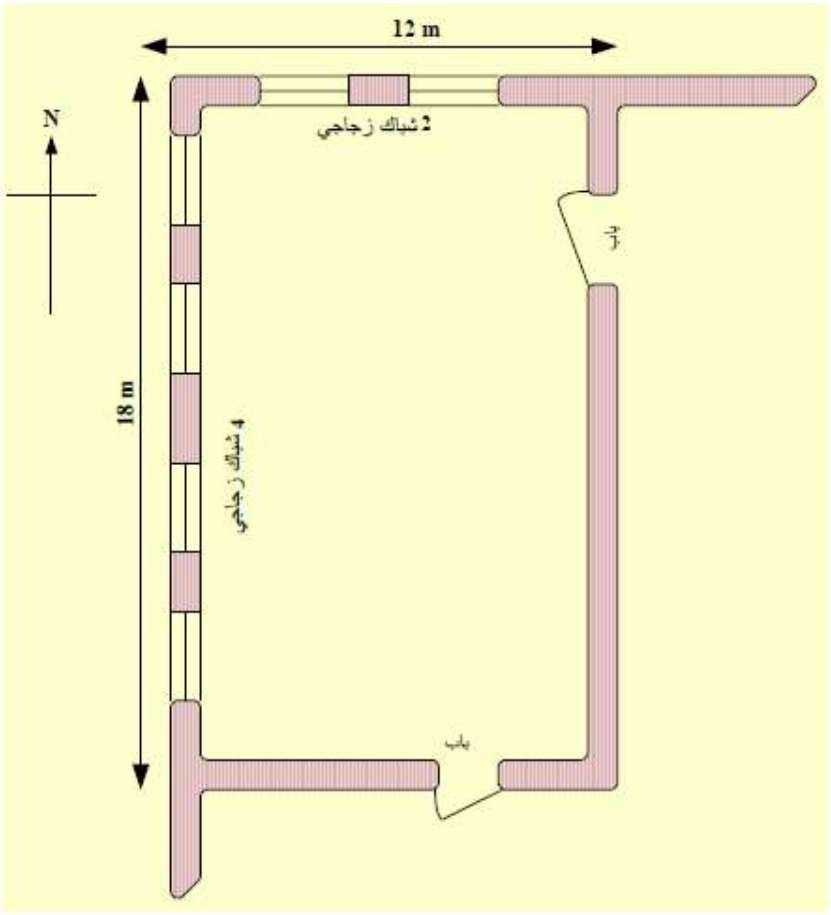


٧ - الرسم أدناه يوضح مكتبا يراد تكييفه. تم معرفة المعلومات الأولية التالية:

- أحوال المكتب الداخلية $24°C(db),50\%RH$
- الأحوال الخارجية $35°C(db),26°C(wb)$
- عدد شاغلي المكتب 30 شخصا
- الإضاءة 400 W
- ارتفاع السقف 3 m
- المبنى به 6 شبابيك زجاجية أبعاد كل منها $1.2m \times 3m$ و عدد2 باب أبعادها كالآتي : $1.5m \times 3m$ من الناحية الشرقية و $1.5m \times 1.2m$ من الاتجاه الجنوبي كما في الرسم.
- المباني المجاورة والمبنى الذي يعلو المكتب عند درجة حرارة $30°C(db)$ بينما المبنى الذي تحت المكتب عند درجة حرارة $24°C(db)$
- معامل انتقال الحرارة الكلي كما يلي:-
  - الحوائط الخارجية $U = 1.6\ W/m^2K$
  - الحوائط الداخلية (بين المباني) $U = 2.5\ W/m^2K$
  - السقف والأرضية $U = 1.5\ W/m^2K$
  - الشبابيك الزجاجية $U = 3.2\ W/m^2K$
  - الأبواب $U = 1.8\ W/m^2K$

بافتراض قيم مناسبة لتأثير الشمس ومعدلات التهوية، أوجد الحمل الكلي للمبنى.

أوجد الحمل الحراري للمبنى إذا كانت الأحوال الخارجية $10°C(db),6°C(db)$ مع عمل أي افتراضات جديدة تراها مناسبة مع التعليل.


12 m
N
2 شباك زجاجي
18 m
4 شباك زجاجي
باب

اختبار ذاتي

السـؤال الأول

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

أ) الهواء الجوي عبارة عن % 80 أكسجين 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 $35°C(db),30\%RH$ تم تبريده إلى $12°C(db),10°C(wb)$ اذن يحدث عندئذ تكثف لبخار الماء ( )

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

و) كلما زاد عدد الأشخاص لحيز ما شتاء كلما قل حمل التسخين للمبني ( )

ز) هواء جوي عند $12°C,10°C$ ، عليه تكون درجة الحرارة الرطبة هي $12°C$ والحرارة الجافة هي $10°C$ ( )

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

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

ك) عملية الترطيب بالبخار تشريبياً مع ثبوت درجة الحرارة الجافة ( )

السـؤال الثاني

وحدة مناولة هواء (AHU) تتكون من مرطب بخار وملف تسخين على التو إلى . الحمل المحسوس للحيز هو 40 kW ومعامل الحرارة المحسوس للحيز يساوي 80%.تم خلط 60% من الهواء الراجع مع 40% من الهواء النقي . تم إعطاء المعلومات التالية:

- الأحوال الداخلية $25°C(db),\ 50\%RH$
- الأحوال الخارجية $10°C(db),6°C(wb)$
- درجة حرارة هواء التغذية للغرفة عند الأحوال الداخلية $35°C(db)$

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

(i) ـ معدل سريان هواء التغذية للغرفة

(ii) ـ سعة ملف التسخين

(iii) ـ كمية بخار الترطيب

السـؤال الثالث

مكتب أبعاده $6m\times5m\times3m$ ، به عدد 2شباك زجاجي مساحة كل شباك $3m\times2m$ وباب خشبي واحد أيضاً أبعاده $1.5m\times2m$ (كما في الرسم المرفق). المكتب به عدد 10 أشخاص وكمية الحرارة الكلية الناتجة من الشخص الواحد هي 132 W. إضاءة المكتب تتم عن طريق 16 لمبة فلورسنت قدرة كل لمبة 50 W. معدل تغير الهواء للمكتب ACH=2. أحوال التصميم الداخلية هي $25°C(db),\ 50\%RH$ بينما أحوال التصميم الخارجية هي $10°C(db),6°C(wb)$. المكتب المجاور عند درجة حرارة $26°C(db)$.

- معامل انتقال الحرارة الكلي لمواد بناء الغرفة هي :

- ♦ معامل انتقال الحرارة الكلي للحوائط $1.6\ W/m^2K$
- ♦ معامل انتقال الحرارة الكلي للمساحات الزجاجية $3.2\ W/m^2K$
- ♦ معامل انتقال الحرارة الكلي للباب الخشبي $1.8\ W/m^2K$

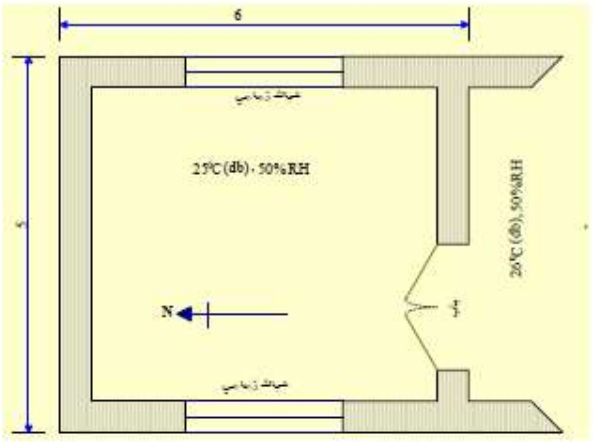
احسب الاتي:

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

ب ـ حمل الأشخاص

ج ـ حمل الاضاءة

د ـ حمل التهوية .



الحل:

السـؤال الأول

ضع علامة (✓) للإجابة الصحيحة وعلامة (×) للاجابة غير الصحيحة :

أ) ـ الهواء الجوي عبارة عن 80 % أكسجين و 20 % نيتروجين (×)

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

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

د) هواء عند $35°C(db),30\%RH$ تم تبريده إلى $12°C(db),10°C(wb)$ إذن يحدث عندئذ تكثف لبخار الماء (✓)

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

و) كلما زاد عدد الأشخاص لحيز ما شتاء كلما قل حمل التسخين للمبنى (✓)

ز) هواء جوي عند $12°C,10°C$ ، عليه تكون درجة الحرارة الرطبة هي $12°C$ والحرارة الجافة هي $10°C$ (×)

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

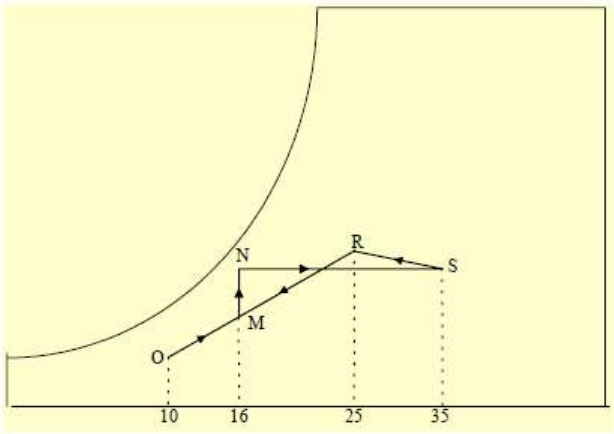
ط) معامل التلامس لملف التبريد يعتمد على نوعية ملف التبريد فقط (×)

ك) عملية الترطيب بالبخار مع ثبوت درجة الحرارة الجافة (✓)

لإيجاد درجة الحرارة الجافة لنقطة الخلط من المعادلة التالية:

$$T_M = \frac{\dot{m}_O T_O + \dot{m}_R T_R}{\dot{m}_O + \dot{m}_R}$$
$$= \frac{0.4\times10 + 0.6\times25}{0.4+0.6}$$
$$= 16\ ^\circ C$$

عليه يمكن تحديد النقطة M بين النقطتين O و R وبشيمة درجة الحرارة الجافة للنقطة M تساوي $16^\circ C$ بعدها يتم رسم SHF وبشيمة 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 بالبخار تقريباً

عليه يكون الشكل كالتالي:

من الشكل السابق نجد إن :

$h_s = 58.5\,kJ/kg$ $\quad$ $h_N = 39.5\,kJ/kg$

$w_N = 0.0092\ kg/kg$ $\quad$ $w_M = 0.0065\,kg/kg$

معدل سريان هواء التغذية $(\dot{m})$

$$\dot{m} = \frac{Q_s}{c_p \times \Delta T}$$
$$= \frac{40}{1\times10} = 4\,kg/s$$

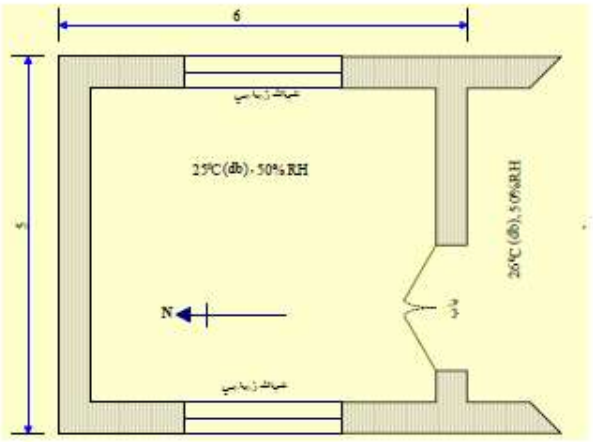
سعة ملف التسخين (Q_{hc})

$$Q_{hc} = \dot{m}\Delta h = \dot{m}(h_S - h_N)$$
$$= 4\times(58.5-39.5)$$
$$= 76\ kW$$

كمية ماء الترطيب $(\dot{m}_w)$

$$\dot{m}_w = 3600\dot{m}(w_N - w_M)$$
$$= 3600\times4\times(0.0092-0.0065)$$
$$= 38.88\ L/hr$$

السـؤال الثالث



أ ـ أحمال الحوائط الرأسية

المعادلة :

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

$$\Delta T = T_o - T_i$$

Q_w W	Q_w W	ΔT $°C$	U W/m^2K	A m^2	البيان /الاتجاه
					الحوائط
	-360	-15	1.6	15	الشمال
	19.2	01	1.6	12	الجنوب
	-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	الجنوب
-1573.8					

انتقال الحرارة من الخارج إلى داخل الغرفة $Q_w = 1573.8W \approx 1.574\ kW$

حمل الأشخاص (Q_p)

$$Q_p = N \times q_p$$
$$= 10 \times 132$$
$$= 1320W \quad = 1.320\ kW$$

حمل الإضاءة (Q_L)

$$Q_L = N \times F \times P$$
$$= 16 \times 1.25 \times 50$$
$$= 1000\ W \quad = 1.000\ kW$$

حمل التهوية (Q_v)

حجم الغرفة $V = 6 \times 5 \times 3$
$= 90\,m^3$

من الخريطة السيكرومترية

الحجم النوعي للهواء التغذية (هواء خارجي) $v_0 = 0.806\,m^3/kg$

طاقة الإنثالبي الداخلية والخارجية $h_O = 20\ kJ/kg$ $h_R = 50.5\ kJ/kg$

معدل سريان هواء التهوية $(\dot{m})$

$$\dot{m} = \frac{V}{3600 v_O}$$
$$= \frac{90}{3600 \times 0.806}$$
$$= 0.031\ kg/s$$

حمل التهوية

$$Q_v = \dot{m}(h_O - h_R)$$
$$= 0.031(20 - 50.5)$$
$$= -0.9455\ kW$$

(إشارة السالب تعني إن الحرارة منتقلة من الخارج إلى الداخل وليس العكس)

&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&

****

م. نادر دريدي