المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

برنامج التدريب العسكري المهني

تخصص تبريد وتكييف

أساسيات تقنية تكييف الهواء

172 برد

طبعة ١٤٢٩ هـ

مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " **أساسيات تقنية تكييف الهواء** " لمتدربي تخصص "**تبريد وتكييف**" لمعاهد التدريب العسكري المهني موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه: إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تمهيد

حقيبة أساسيات تقنية تكييف تم وضعها لفني التبريد وتكييف الهواء والذي أتم دراسة مقرر أساسيات علم الحراريات والموائع، حيث تتطلب دراسة هذه الحقيبة الإلمام بطرق انتقال الحرارة وحساباتها، كما تتطلب أيضا معرفة القانون الأول والقانون الثاني للديناميكا الحرارية مع معرفة دورة كارنوت المعكوسة. وتهدف هذه الحقيبة لإعطاء معلومات أساسية للمتدربين في هذا التخصص حيث روعي فيها البساطة وعدم التعقيد من خلال المعادلات البسيطة و الأمثلة التوضيحية ما أمكن ذلك.

تحتوي حقيبة أساسيات تقنية تكييف الهواء (الجزء النظري) على ست وحدات تدريبية تشمل ما يلي:

الوحدة التدريبية الأولى وتعنى بخصائص الهواء الرطب.

الوحدة التدريبية الثانية وتعنى بالخريطة السيكرومترية.

الوحدة التدريبية الثالثة وتعنى بعمليات تكييف الهواء الأساسية.

الوحدة التدريبية الرابعة وتعنى بظروف التصميم من ظروف داخلية وخارجية وظروف الراحة الحرارية للإنسان ومتطلبات التهوية.

الوحدة التدريبية الخامسة وتعنى بدورات تكييف الهواء الصيفية والشتوية.

الوحدة التدريبية السادسة وتعنى بحساب أحمال التبريد والتدفئة

وخلال الشرح للوحدات السابقة تم إعطاء أمثلة محلولة في كثير من الأحيان كما تم وضع أسئلة للطلاب عند نهاية كل وحدة من هذه الوحدات ليتدرب عليها الطلاب وذلك حتى يتسنى لهم معرفة مدى استيعابهم للمادة.

ونتمنى من المولى عز وجل إن نكون قد وفقنا فيما قد يفيد أبناءنا الطلبة والله الهادي إلى سواء السبيل.

أساسيات تقنية تكييف الهواء

خصائص الهواء الرطب

الوحدة الأولى : خصائص الهواء الرطب

Properties of Humid Air

مقدمة

لدراسة خصائص الهواء الرطب يجب إيراد التعاريف الثلاثة التالية:

أ ـ الهواء الجاف Dry Air

يعتبر الهواء جافاً عند إزالة كل الملوثات والرطوبة منه. وهو عبارة عن 78% (حجمياً)، نيتروجين ،21% أوكسجين , 1% غازات أخرى .

ب ـ الهواء الرطب Moist Air

الهواء الرطب هو خليط من الهواء الجاف وبخار الماء العالق بالهواء.

ج ـ الهواء الجوي Atmospheric Air

يتكون الهواء الجوي وهو الهواء الذي نتنفسه عادة من الأوكسجين، النيتروجين، ثاني أكسيد الكربون، الرطوبة وغازات أخرى. كما إنه قد يحتوي على بعض الملوثات كالغبار والأدخنة.

الجدارة: معرفة خصائص الهواء الرطب

الأهداف:

عندما تكمل هذه الوحدة تكون قادرا على:

- معرفة مكونات الهواء الرطب.
- معرفة خصائص الهواء الرطب وطرق تحديد الخواص المختلفة له.

مستوى الأداء المطلوب:

أن يصل المتدرب إلى الإتقان الكامل لهذه الجدارة وبنسبة 100٪.

الوقت المتوقع للتدريب:

ساعتان تدريبية.

خصائص الهواء الرطب Properties of Humid Air

باعتبار الهواء غازاً مثالياً يتبع قوانين الغاز المثالي، سوف نقوم بإعطاء بعض القوانين البسيطة للمساعدة في فهم خواص الهواء والعلاقة التي تربطها ببعضها:

$$pV = mRT$$

حيث:

الضغط	p
الحجم	V
الكتلة	m
ثابت الغازات	R
درجة الحرارة بالكلفن	T

وباستعمال قانون دالتون للغازات Daltons Law

$$p = p_a + p_v$$

حيث:

الضغط الحقيقي للهواء	$p =$
الضغط الجزئي للهواء الجاف	$p_a =$
الضغط الجزئي لبخار الماء	$p_v =$

1- درجة الحرارة الجافة Dry Bulb Temperature (db)

هي درجة الحرارة المقاسة بواسطة الترمومتر العادي.

2- درجة الحرارة الرطبة Wet Bulb Temperature (wb)

درجة الحرارة الرطبة عبارة عن أقل درجة حرارة يقيسها الترمومتر الرطب. الترمومتر الرطب عبارة عن ترمومتر زئبقي عادي بصيلته مغطاة بقطعة قماش مبللة. أحيانا تعرف درجة الحرارة الرطبة بدرجة حرارة التشبع الأدياباتية (adiabatic saturation temperature) وذلك لأن الحرارة اللازمة لتبخير الماء من قطعة القماش تؤخذ كلها من الهواء الجوي الذي يمر خلالها عندما تصل قراءة الترمومتر الرطب إلى أقل قيمة لها.وهى تعبر عن التأثير التبريدي لتبخير المياه.

درجة الحرارة الجافة(db) ودرجة الحرارة الرطبة (wb) تقاس في كثير من الأحيان بجهاز واحد يعرف بالمقلاع (sling psychrometer) كما في الشكل التالي:

شكل (1 – 3): المقلاع

3- درجة حرارة الندى: (Dew Point Temperature)

درجة الندى هي درجة الحرارة التي عندها يتكثف بخار الماء الموجود في الهواء.

4- الرطوبة النوعية (Specific Humidity ω)

الرطوبة النوعية (أو الرطوبة المطلقة) هي مقدار كتلة بخار الماء في الهواء لكل 1 kg من كتلة الهواء الجاف.

$$\omega = \frac{m_v}{m_a}$$

حيث:

كتلة بخار الماء في الهواء بوحدة kg $= m_v$

كتلة الهواء الجاف بوحدة kg $= m_a$

وباستعمال قانون الغازات العام:

كتلة بخار الماء $m_v = \frac{p_v V_v}{R_v T_v}$

كتلة الهواء $m_a = \frac{p_a V_a}{R_a T_a}$

الرطوبة النوعية $\omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{p_v V_v}{R_v T_v} \times \frac{R_a T_a}{p_a V_a}$

لكن من قانون دالتون

$$V_{mixture} = V_a = V_v$$

$$T_{mixture} = T_a = T_v$$

إذن عليه تكون الرطوبة النوعية $\omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{p_v}{R_v} \times \frac{R_a}{p_a}$

وبافتراض أن الضغط الجوي هو (p)يمكن كتابة الضغوط حسب قانون دالتون كالآتي:

$$p = p_a + p_v$$

أ و

$$p_a = p - p_v$$

وبما أن:

$$\frac{R_a}{R_v} = \frac{\overline{R}}{28.9} \times \frac{18}{\overline{R}} = 0.622$$

ومن ثم يمكن كتابة الرطوبة النوعية كالآتي:

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} = 0.622 \frac{p_v}{p - p_v}$$

ومن هنا يتضح أن الرطوبة النوعية تتناسب مع ضغط البخار (p_v).

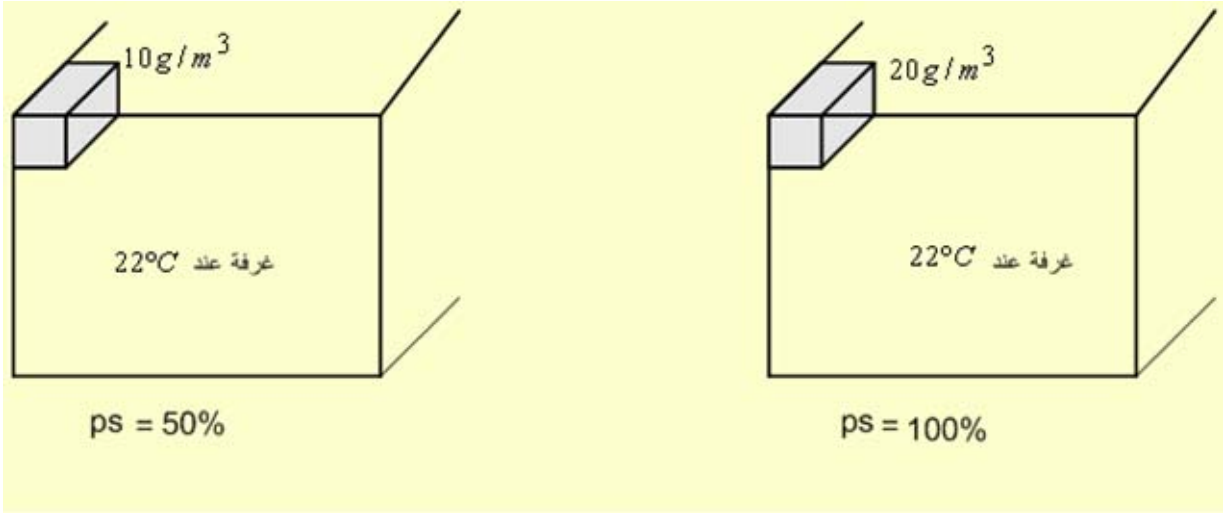
5- نسبة التشبع Percentage Saturation (PS)

يتحمل الهواء قدراً معيناً من بخار الماء، وأقصى حد يتحمله الهواء عندما تصل p_v إلى درجة التشبع عندئذ يكون الهواء مشبعاً، وزيادة أي رطوبة في الهواء تؤدي إلى تكثيف بخار الماء الموجود في الهواء.

تعرف نسبة التشبع أو درجة التشبع Degree Of Saturation (DOS) بأنها مقياس لنسبة كمية بخار الماء الموجود في الهواء إلى الكمية القصوى من بخار الماء (الرطوبة النوعية عند التشبع) التي يمكن أن يحملها الهواء عند نفس درجة الحرارة الجافة ففي الشكل (1- 1).

إذا كانت كمية الرطوبة الموجودة في غرفة تساوي $10g/m^3$ عند درجة حرارة $22°C$. ثم أضيفت رطوبة إلى هواء الغرفة حتى وصل إلى درجة التشبع بحيث لا يقبل أي زيادة في كمية الرطوبة. ووجد أن كمية الرطوبة بعد التشبع وعند نفس درجة الجرارة هي $20g/m^3$ عليه تكون نسبة التشبع للهواء هي:

$$PS = \frac{10}{20} = 0.50 = 50\%$$

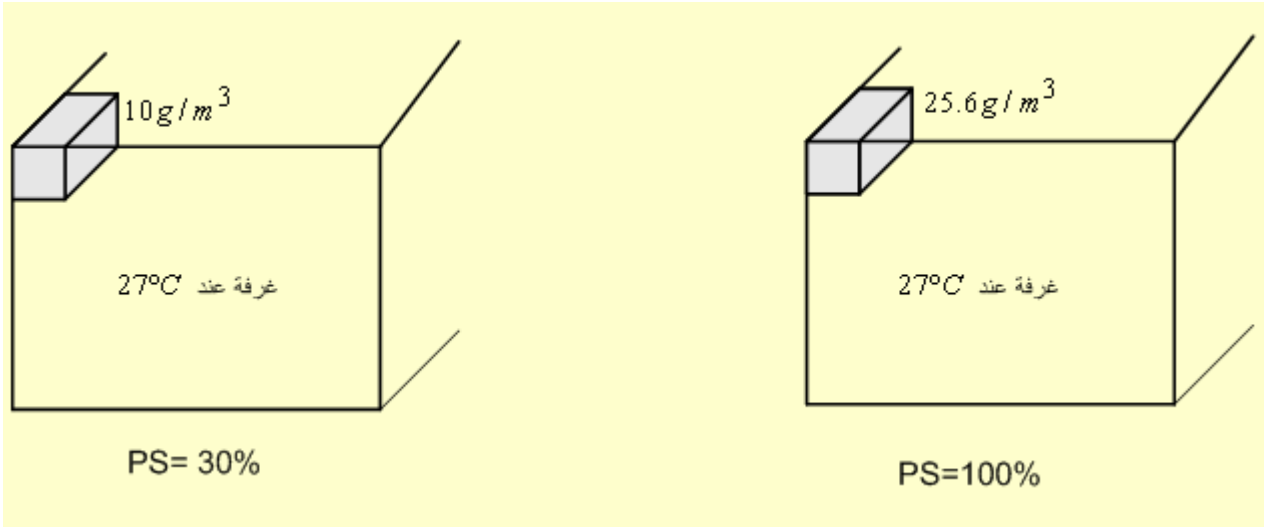


شكل (1 – 1): نسبة التشبع

تعتبر نسبة التشبع ذات فائدة لأنها تعطي مؤشراً سريعاً عن مدى الجفاف النسبي للهواء. وبالتالي عندما تكون نسبة التشبع عالية يكون الهواء رطباً وهذا يعني أنه عند إضافة كمية قليلة من الرطوبة سوف يصبح الهواء مشبعاً والعكس عندما تكون نسبة التشبع منخفضة فإن الهواء يحتاج إلى كمية كبيرة من الرطوبة ليصبح مشبعاً.

كما أن كمية الرطوبة التي يمكن أن يحملها الهواء تزيد مع زيادة درجة الحرارة الجافة. فمثلا كما في الشكل (1- 2) نجد أن أقصى كمية رطوبة يمكن أن يتحملها الهواء عند $27°C$ تصل إلى $25.6g/m^3$ بدلا من $20g/m^3$ عند $22°C$ ، عليه إذا كانت كمية الرطوبة الموجودة في الحيز تساوي $10g/m^3$ فإن نسبة التشبع حينئذ تكون:

$$PS=\frac{10}{25.6}=0.39=39\%$$



شكل (1 – 2): تأثير درجة الحرارة الجافة على نسبة التشبع

ومن تعريف نسبة التشبع يمكن كتابتها كما يلي:

$$PS=\frac{m_v}{m_g}$$

حيث:

m_v = كمية الرطوبة عند درجة الحرارة الجافة

m_g = كمية الرطوبة عند التشبع لدى نفس درجة الحرارة الجافة

6- الرطوبة النسبية Relative Humidity(RH)

هي عبارة عن النسبة المئوية للضغط الجزئي لبخار الماء الموجود في الهواء إلى الضغط الجزئي لبخار الماء عند التشبع عند نفس درجة الحرارة الجافة. ويمكن كتابة الرطوبة النسبية كالتالي:

$$RH(\phi) = \frac{p_v}{p_g} \qquad 0 \le RH \le 1$$

حيث:

$P_v =$ الضغط الجزئي لبخار الماء عند درجة الحرارة الجافة

$P_g =$ الضغط الجزئي لبخار الماء عند التشبع لدى نفس درجة الحرارة الجافة

أما الإنثالبي للهواء فهي $h = h_a + \omega h_{fg} = c_p T + \omega h_{fg}$

ملحوظة:

يجب التنبيه للفرق بين نسبة التشبع والرطوبة النسبية خصوصاً عند استخدام خرائط السيكروميتري لاحقاًحيث إن بعض الخرائط تستخدم نسبة التشبع والبعض الآخر يستخدم الرطوبة النسبية.

خلاصة

- الهواء الجوي يتكون من 78% نيتروجين و 21% أوكسجين
- لحد كبير يعتبر الهواء مثاليا ويتبع القانون العام للغازات.
- درجة الحرارة الجافة للهواء هي درجة الحرارة التي يسجلها التيرمومتر العادي..
- درجة الحرارة الرطبة هي أقل درجة حرارة يسجلها تيرمومترمبتل بقطعة قماش .
- المقلاع هو الجهاز الذي يسجل درجة الحرارة الجافة ودرجة الحرارة الرطبة . درجة الحرارة الرطبة أقل من درجة الحرارة الجافة نسبة لتبخر الماء من القماش المبتل .
- الرطوبة النسبية هي مقياس لنسبة كمية رطوبة الهواء إلى الكمية القصوى التي يمكن إن يحملها الهواء عند نفس درجة الحرارة
- الرطوبة النوعية (أو الرطوبة المطلقة) هي مقدار كمية الرطوبة في الهواء لكل 1 kg من الهواء الرطب.

أساسيات تقنية تكييف الهواء

الخريطة السيكرومترية

الجدارة: معرفة استخدام السيكرومترية

الأهداف:

عندما تكمل هذه الوحدة تكون قادرا على:

- التعرف على الخطوط المختلفة على الخريطة السيكرومترية.
- معرفة قراءة القيم المختلفة من الخريطة السيكرومترية.

مستوى الأداء المطلوب:

أن يصل المتدرب إلى الإتقان الكامل لهذه الجدارة وبنسبة 100٪.

الوقت المتوقع للتدريب:

4ساعات تدريبية.

الوحدة الثانية : الخريطة السيكرومترية

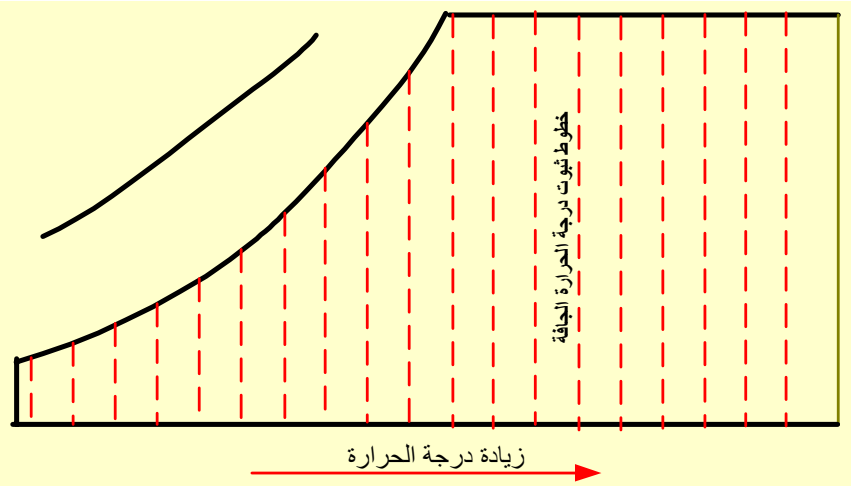
مقدمة

الخريطة السيكرومترية هي أداة توضح بيانيا العلاقة بين خصائص الهواء الرطب عند الضغط الجوي وهي تستخدم لتحليل مختلف عمليات التبريد والتدفئة للهواء كما أنها تسهل أيضاً تحليل دورات التكييف من حسابات والإعانة على اختيار وتحديد بعض الأجهزة والمعدات التي تستخدم في مجالات التكييف.

الخريطة السيكرومترية : Psychrometric Chart

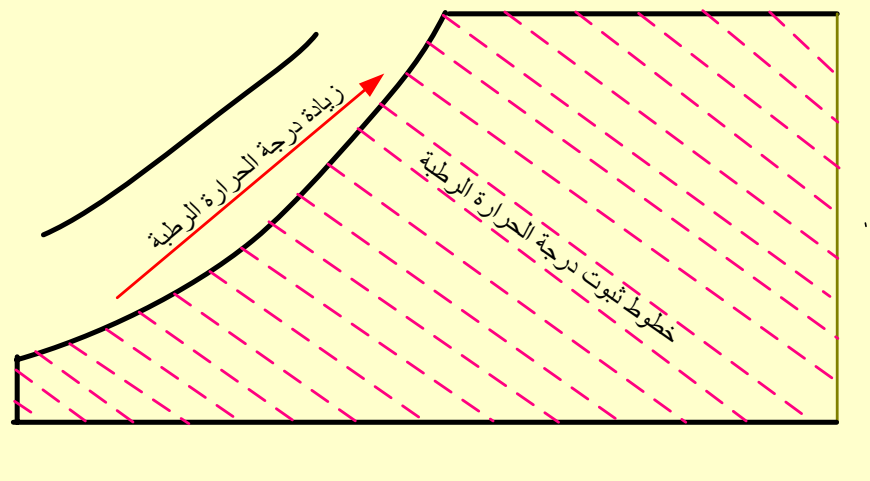
تحتوي الخريطة السيكرومترية على سبع خواص للهواء هي:

- **درجة الحرارة الجافة:** وهي خطوط رأسية كما في الرسم. وتبين قراءات درجة الحرارة الجافة (db) تبين على المحور السيني في مخطط الخريطة السيكرومترية.



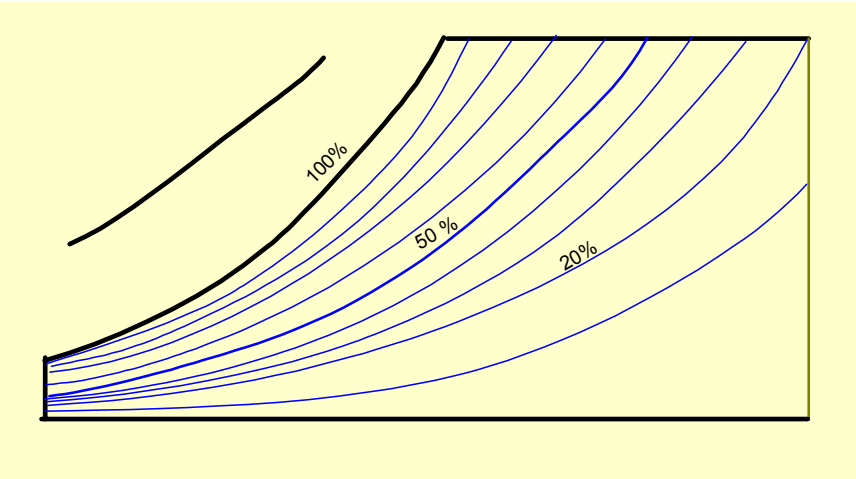
شكل (2 – 1): خطوط درجة الحرارة الجافة

- **درجة الحرارة الرطبة** (wb)



شكل (2 – 2): خطوط درجة الحرارة الرطبة

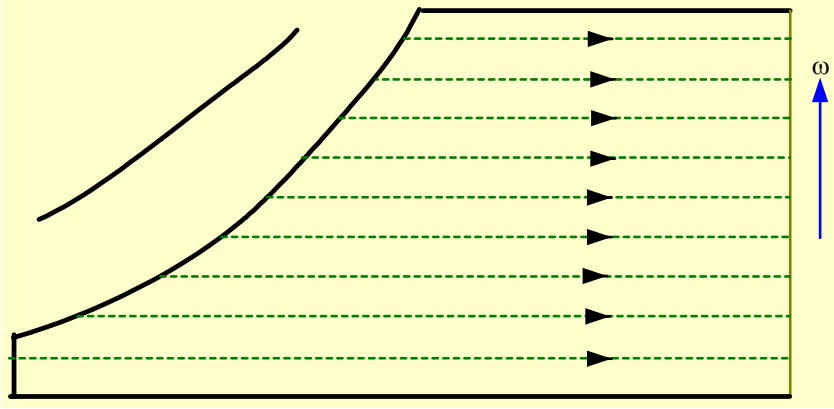
ـ الرطوبة النسبية (RH)



شكل (2 – 3): خطوط ثبوت الرطوبة النسبية.

- **الرطوبة النوعية(ω)**

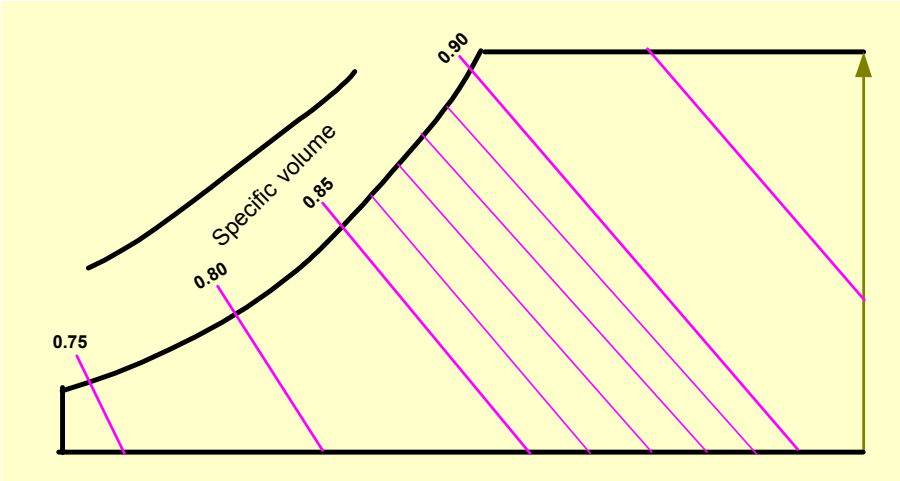
غالبا ما تكون وحدة الرطوبة النوعية هي kg/kg وهي تعني كتلة الرطوبة (بخارالماء) الموجودة في كتلة kg من الهواء الجاف وقد تعطي في بعض الأحيان بوحدة g/kg نسبة لصغر كتلة الماء الموجودة في الهواء. وتقرأ من النقطة المحددة في اتجاه اليمين أفقيا كما يشير السهم بالرسم إلى ذلك . قراءات الرطوبة النوعية هي محور الصاد على الخريطة.



شكل (2– 4): خطوط ثبوت الرطوبة النوعية

- **الحجم النوعي** (v)

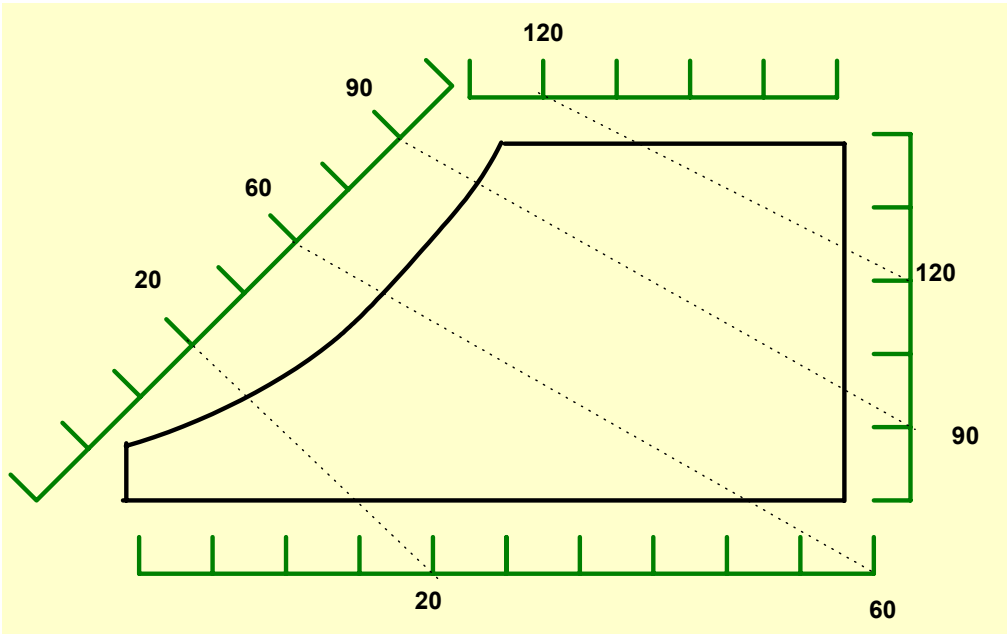
ووحدته m^3/kg وهو أقل من العدد واحد.



شكل (2 – 5): خطوط ثبوت الحجم النوعي

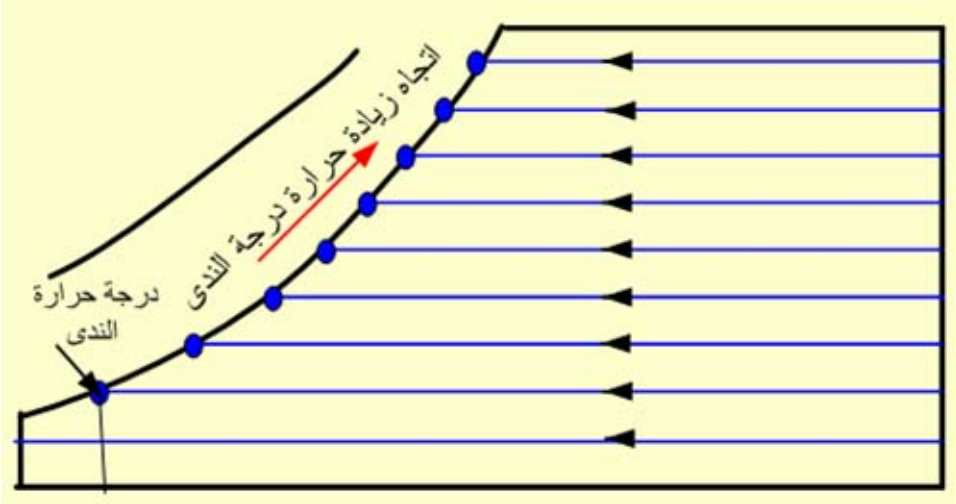
- **طاقة الانثالبي** (h)

خطوط الإنثالبي توجد على أطراف الخريطة السيكرومترية وفي كثير من الكتب تعتبر خطوط درجة الحرارة الرطبة هي نفسها خطوط طاقة الإنثالبي . لتحديد قيمة الإنثالبي لنقطة ما في الخريطة السيكرومترية يجب أن يكون بناء على الخطوط المستقيمة الواصلة بين القيمة ذاتها الموجودة بجانبي الخريطة كما يظهر في الرسم التالي مثلا.



شكل (2 – 6): خطوط ثبوت طاقة الانثالبي.

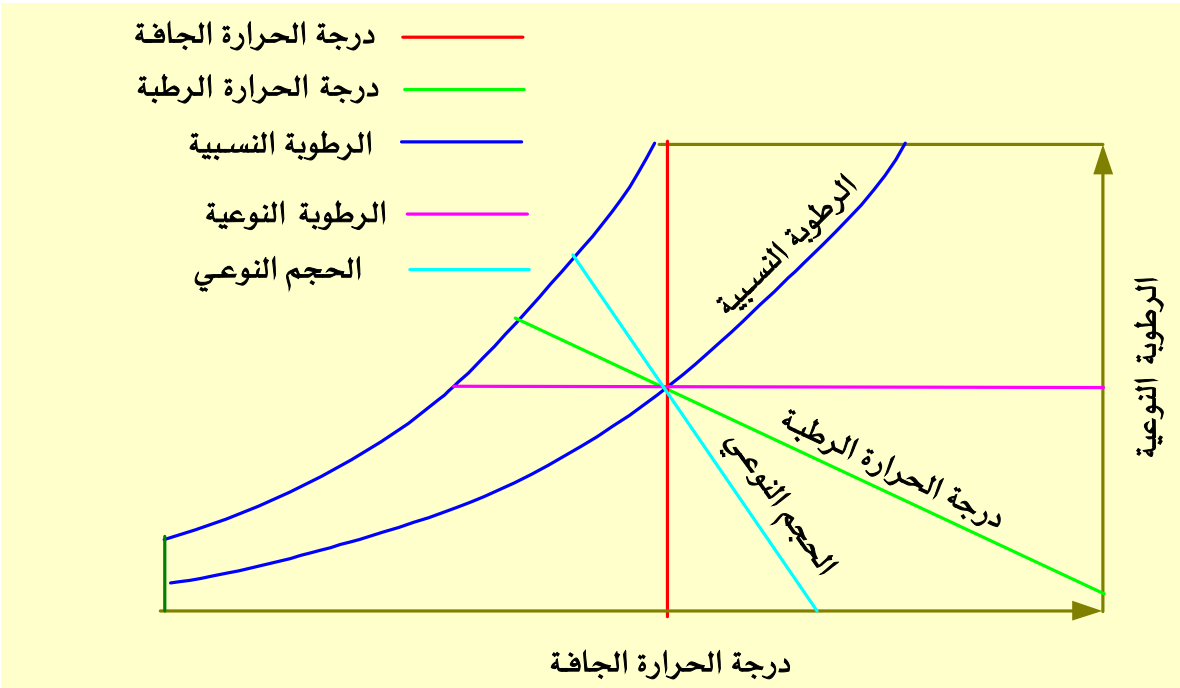
- درجة الندى Dew Point



شكل (2 – 7): خطوط ثبوت درجة الندى

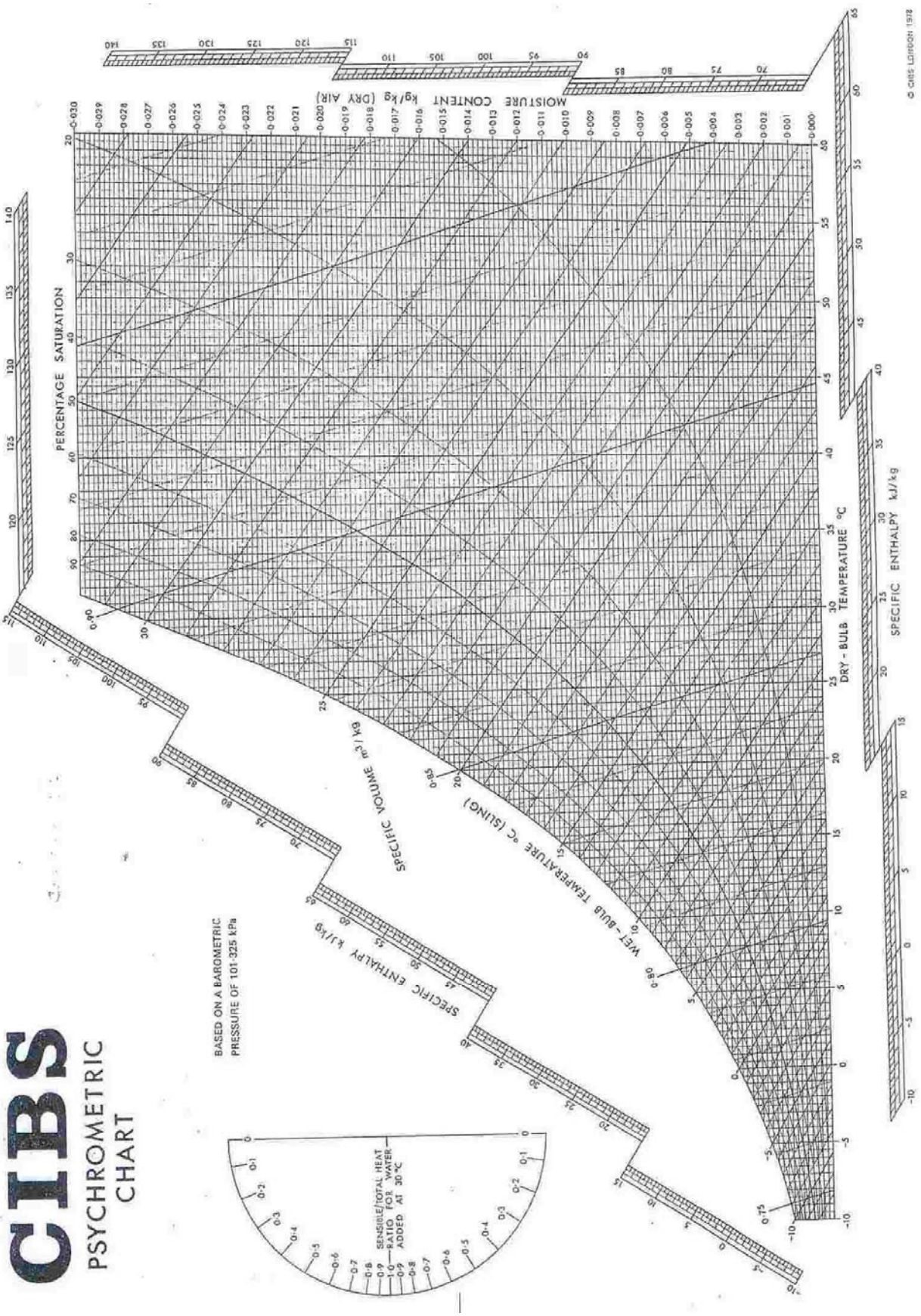
يمكن قراءتها عند خط التشبع من قراءات درجة الحرارة الرطبة أو الجافة . وهي تقع على اليسار أفقيا كما يشير السهم إلى ذلك.

والرسم التالي يبين خمس من مكونات الخريطة السيكرومترية:



شكل (2 – 8): خطوط الخواص السيكرومترية

لتحديد خاصية الهواء عند أي حالة يجب معرفة اثنتين من الخواص السبع السابقة.

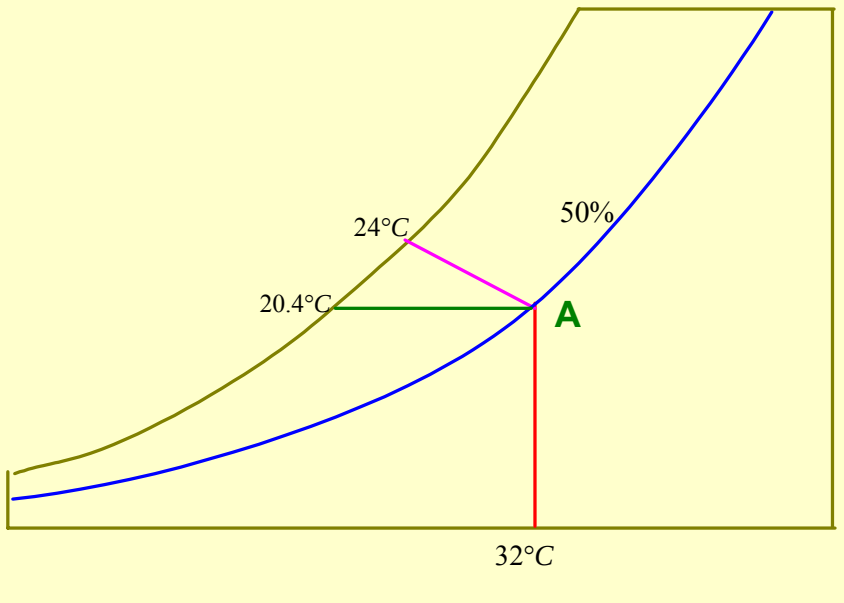


شكل (2 – 9): الخريطة السيكرومترية

مثال 1:

هواء رطب عند $32°C(db)$ و $24°C(wb)$. أوجد:

- الرطوبة النسبية RH
- نسبة التشبع PS
- ودرجة الندى dp.



شكل (2 – 10):

خطوات الحل:

- حدد $32°C$ على المحور السيني.
- ارسم خطا رأسيا من النقطة $32°C$.
- حدد درجة الحرارة $24°C$ على منحنى درجة الحرارة الرطبة.
- تتبع خط الحرارة الرطبة من النقطة السابقة حتى يتقاطع مع الخط الرأسي لدرجة الحرارة الجافة.
- من نقطة التقاطع(A) حدد حالة الهواء.
- اقرأ الرطوبة النسبية من الخريطة ($RH = 52\%$)
- اقرأ الرطوبة النوعية عند نقطة التقاطع ($\omega_A = 0.0156$)
- اقرا الرطوبة النوعية عند التشبع لدى درجة الحرارة $32°C$ ($\omega_A = 0.0306$)
- اقسم القيمة الأولى على القيمة الثانية تحصل على نسبة التشبع ($PS = 51\%$)

- لتحديد نقطة الندى(dp)؛ اذهب مع الخط الأفقي الممتد من نقطة التقاطع (A)حتى تقطع خط التشبع، وعند خط التشبع ارسم خطاً عمودياً على التدرج السيني (درجة الحرارة الجافة) ومن ثم اقرأ درجة الحرارة ($dp = 20.4^0 C$)

استعمل الخريطة السيكرومترية لتتبع حل الأمثلة التالية.

مثال2:

هواء رطب عند $23°C(db)$ ورطوبة نسبية $RH = 60\%$ أوجد درجة الحرارة الرطبة (wb).

الحل:

- حدد درجة الحرارة الجافة $23\ °C$ على المحور السيني، ومنه ارسم خطا عموديا حتى يقطع خط الرطوبة النسبية $RH = 60\%$.
- من نقطة التقاطع اقرأ درجة الحرارة الرطبة $wb = 18\ °C$

مثال3:

هواء رطب عند $35\ °C(db)$ وحجم نوعي $v = 0.89\ {}^{m^3}\!/_{kg}$. أوجد الرطوبة النوعية (ω) والانثالبي (h).

خطوات الحل:

- حدد $35\ °C$ على المحور السيني وارتفع عمودياً حتى يتقاطع مع خط الحجم النوعي عند $v = 0.89\ {}^{m^3}\!/_{kg}$.
- من نقطة التقاطع، اذهب بخط أفقي ناحية اليمين حتى تصل إلى محور الرطوبة النوعية. عندها تجد أن الخط يتقاطع بين 0.012 و 0.013 والمسافة بينهما مقسمة إلى خمس مسافات صغيرة . وحيث إن خط الرطوبة النوعية المرسوم من نقطة تقاطع $35\ °C(db)$ و $v = 0.89\ {}^{m^3}\!/_{kg}$ يقع على مسافة واحدة أعلى من الرقم 0.012 عليه تكون الرطوبة النسبية للهواء هي $\omega = 0.0122\ \frac{kgH_2O}{kgair}$

(ملاحظة: أولاً اكتب الرقم الأسفل من خط ثبوت الرطوبة النوعية ثم احسب عدد المسافات أعلى من الرقم السابق واضربه في 2 ثم ضعه أيمن الرقم الذي قرأته سابقا)

- لقراءة الإنثالبي يجب استعمال مسطرة ومن ثم يقرأ من الإنثالبي الرقم الذي يمر على نقطة التقاطع بحيث تكون المسطرة على نفس الرقمين وعليه نجد إن $h = 67kJ/kg$.

مثال4:

هواء رطب عند $22\ °C(db)$ و $RH = 50\ \%$. من الخريطة السيكرومترية أوجد الخصائص التالية :

wb ، ω ، v ، h و dp.

الحل:

- حدد درجة الحرارة الجافة $22\ °C$ على المحور السيني ومنه ارسم خطا عموديا حتى يقطع خط الرطوبة النسبية $RH = 50\%$. من نقطة التقاطع اقرأ الخصائص المطلوبة و ستجدها كالآتي:

درجة الحرارة الجافة	درجة الحرارة الرطبة	الرطوبة النسبية	الرطوبة النوعية	الحجم النوعي	الانثالبي	درجة الندى
db	wb	RH	ω	v	h	dp
^0C	^0C	%	$\frac{kgH_2O}{kgair}$	m^3/kg	kJ/kg	^0C
22	15.39	50	0.0082	0.8472	43	10.96

جدول (2 – 1)

خلاصة

- الخريطة السيكرومترية هي أداة تسهل إيجاد خصائص الهواء الرطب عند الضغط الجوي عند مختلف أحوال التبريد والتدفئة كما أنها تسهل وتوضح عمليات التكييف المختلفة . الخريطة السيكرومترية تحتوي على سبع خواص للهواء هي.

- درجة الحرارة الجافة (db)
- درجة الحرارة الرطبة (wb)
- الرطوبة النسبية (RH)
- الرطوبة النوعية (ω)
- الحجم النوعي (v)
- طاقة الانثالبي (h)
- درجة الندى Dew point

- لتحديد أحوال الهواء على الخريطة السيكرومترية يلزم معرفة خاصيتين مستقلتين من الخواص السبع.

تمارين

باستخدام الخريطة السيكرومترية أكمل الخصائص الناقصة للهواء الرطب عند الضغط الجوي إذا عرفت أي من :

درجة الحرارة الجافة	درجة الحرارة الرطبة	الرطوبة النسبية	الرطوبة النوعية	الحجم النوعي	الانثالبي	درجة الندى
db	wb	RH	ω	v	h	dp
^0C	^0C	%	$\frac{kgH_2O}{kgair}$	m^3/kg	kJ/k	^0C
22			0.010			
	16	45				
20						11
	21		0.0134			
		20	0.0084			
		80				15
30				0.88		
		50			90	
				0.86	50	
	25			0.015		

أساسيات تقنية تكييف الهواء

العمليات الأساسية لتكييف الهواء

الجدارة: معرفة العمليات السيكرومترية.

الأهداف:

عندما تكمل هذه الوحدة تكون قادرا على:

- تمثيل العمليات السيكرومترية المختلفة على الخريطة السيكرومترية.
- تحديد نقطة الخلط لتيارين من الهواء.
- قراءة القيم من الخريطة واجراء الحسابات اللازمة.

مستوى الأداء المطلوب:

أن يصل المتدرب إلى الإتقان الكامل لهذه الجدارة وبنسبة 100٪.

الوقت المتوقع للتدريب:

8 ساعة تدريبية.

الوحدة الثالثة : العمليات الأساسية لتكييف الهواء
Air Conditioning Processes

مقدمة

تشتمل العمليات السيكرومترية الأساسية لتكييف الهواء على العمليات التالية:

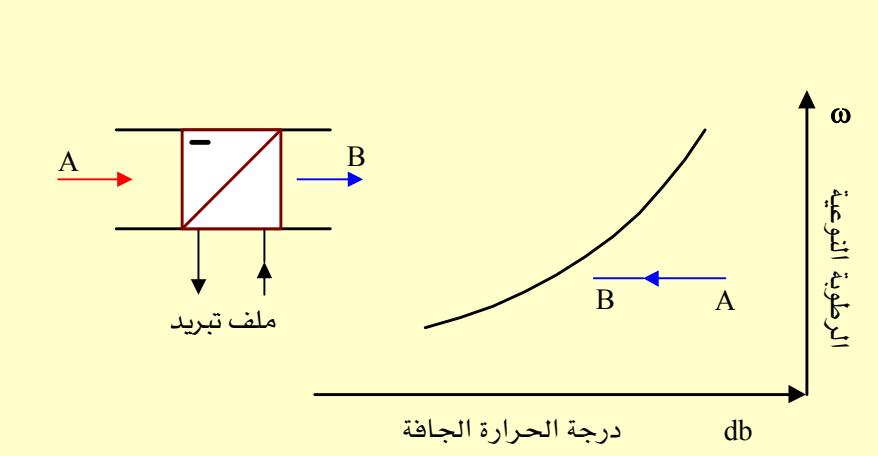
1. تبريد محسوس.
2. تسخين محسوس.
3. تبريد تبخيري.
4. تبريد مع إزالة رطوبة.
5. حقن بالبخار (ترطيب فقط).
6. تسخين مع ترطيب.
7. إزالة الرطوبة كيميائياً.
8. إزالة رطوبة فقط

وفي هذه الوحدة سوف يتم دراسة العمليات الخمس الأولى بالإضافة إلى عملية الخلط الاديباتي للهواء.

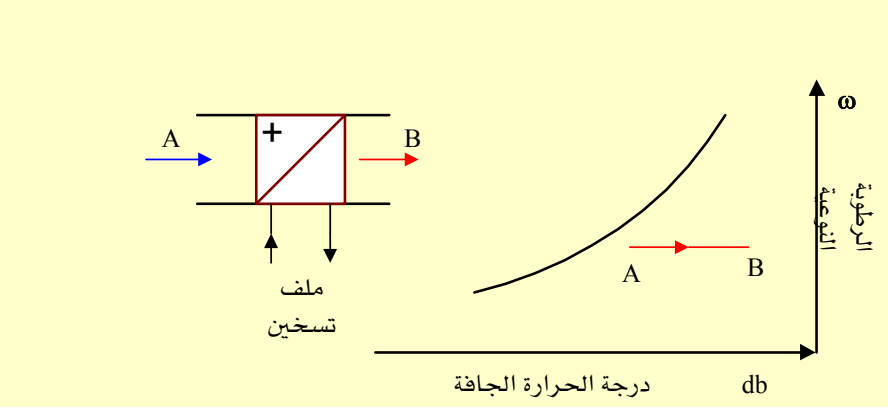
العمليات السيكرومترية : Psychrometric Processes

أولاً : التبريد والتسخين المحسوس Sensible Heating or Cooling

العمليات الحرارية المحسوسة هي عمليات يتم فيها إضافة حرارة (تسخين) أو إزالتها (تبريد) من الهواء بدون حدوث تغير في نسبة الرطوبة (مثال ذلك التدفئة الشتوية). هذه العمليات تمثل على الخريطة السيكرومترية بخطوط أفقية موازية لخط درجة الحرارة الجافة. يكون التبريد تبريدا محسوسا إذا تم تبريد الهواء إلى درجة حرارة أكبر من درجة الندى وأن تكون درجة حرارة مائع التبريد في الملف أكبر من درجة الندى للهواء دون تغيير في الرطوبة النوعية للهواء كما موضح في الشكلين التاليين.



شكل (3 – 1): التبريد المحسوس



شكل (3 – 2): التسخين المحسوس

نتيجة للتبريد أو التسخين المحسوس يحدث تغير في الدرجة الحرارة الجافة، درجة الحرارة الرطبة، طاقة الانثالبي، الحجم النوعي والرطوبة النسبية. ويوضح الجدول التالي إلى هذا التغير:

	درجة الحرارة الجافة	درجة الحرارة الرطبة	الرطوبة النسبية	الرطوبة النوعية	الحجم النوعي	الانثالبي	درجة الندى
	db	wb	RH	ω	v	h	dp
التبريد المحسوس	↓	↓	↑	=	↓	↓	=
التسخين المحسوس	↑	↑	↓	=	↑	↑	=

جدول (3 – 1): أثر التبريد والتسخين المحسوس على خواص الهواء

حيث يشير كل سهم كما يلي: (= ثبوت الخاصية)، (↑زيادة للخاصية) (↓ نقصان للخاصية)

يمكن حساب التبريد أو التدفئة المحسوس باستعمال المعادلة التالية:

$$Q = \dot{m}\,(h_2 - h_1)$$

أو

$$Q = \dot{m}\,c_p \Delta T$$

حيث :

$\dot{m}$ = معدل سريان الهواء (= معدل سريان الهواء الحجمي مقسوما على الحجم النوعي)

$c_p = 1.006\ kJ/kgK$ الحرارة النوعية للهواء

($c_{p_a} = 1.0\ kJ/kgK$ غالبا ما تعتبر الحرارة النوعية للهواء)

ΔT = الفرق في درجة حرارة الهواء

مثال1:

احسب حمل ملف التسخين عند تسخين $1.5\,m^3/s$ من الهواء الرطب عند $21°C(db), 15°C(wb)$ بمقدار $20°C$.

إذا كان المائع المستخدم لملف التسخين هو ماء ساخن يدخل الملف عند $85°C$ ويخرج عند $75°C$.احسب كتلة الماء المار في الملف ($c_{p_{water}} = 4.18\ kJ/kgK$)

الحل:

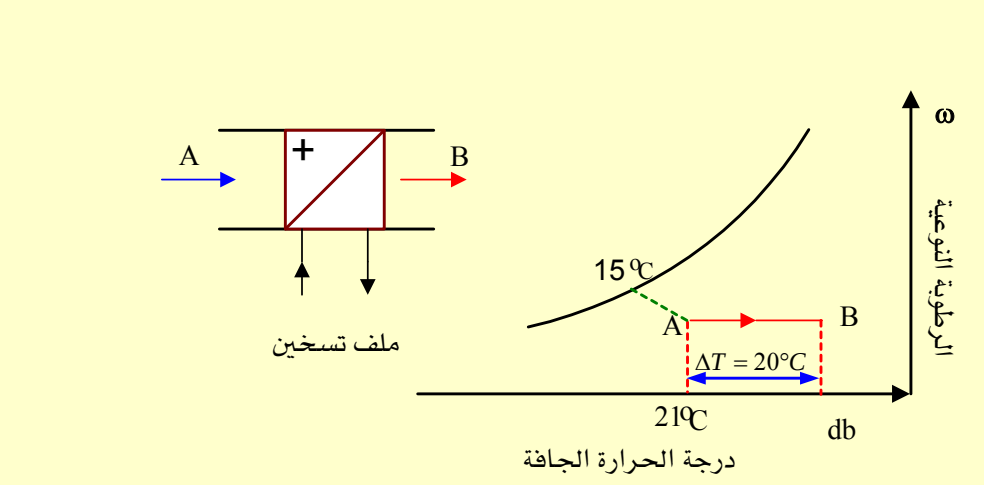
من الخريطة السيكرومترية:

$$h_B = 61.5kJ/kg \qquad h_A = 41.5kJ/kg$$

$$v_A = 0.844m^3/kg$$

معدل سريان الهواء $(\dot{m}_a)$

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{V}}{v_A} = \frac{1.5}{0.844} = 1.78kg/s$$



شكل (3 – 3):

حمل ملف التسخين (Q_{cc})

$$Q_{cc} = \dot{m}(h_B - h_A) = 1.78(61.5 - 41.5) = 35.6\,kW$$

أو

$$Q_{cc} = \dot{m}_a c_p \Delta T$$

$$= 1.78 \times 1.0 \times 20 = 35.6\ kW$$

لحساب كمية الماء $(\dot{m}_w)$ المار في ملف التسخين، وبمعادلة اتزان الطاقة:

الحرارة المفقودة من ماء التسخين (q_w) = الحرارة المكتسبة للهواء (q_a) $(35.6\ \text{kW})$

$$(q_w) = (q_a)$$

$$\dot{m}_w c_{p_{water}} \Delta T_w = 35.6$$

$$\dot{m}_w = \frac{35.6}{c_{p_{water}} \times \Delta T_w}$$

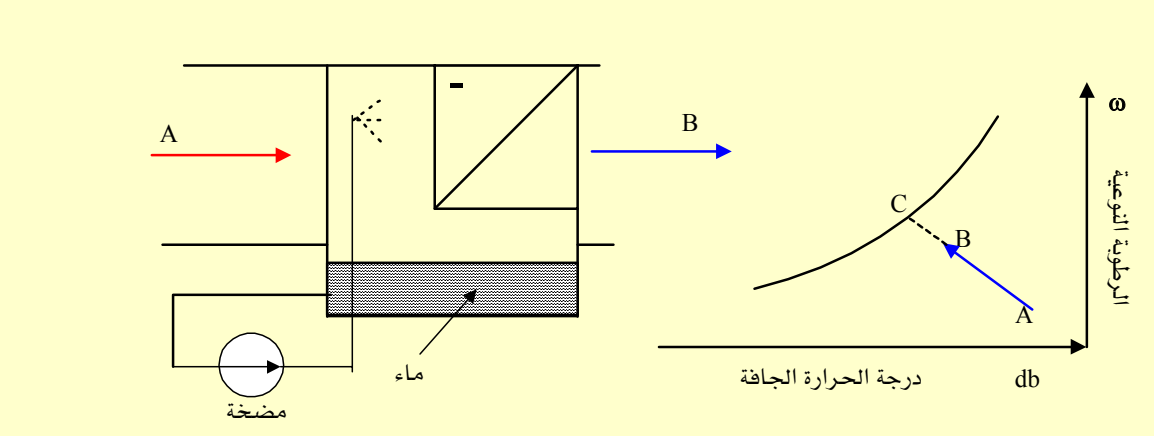
$$\dot{m}_w = \frac{35.6}{4.18 \times 10} = 0.85 kg/s$$

ثانياً: التبريد التبخيري Evaporative Cooling

عملية التبريد التبخيري هي عملية أدياباتية (adiabatic process) لا يصاحبها فقدان أو اكتساب للحرارة. ويمكن الحصول على ترطيب مع تبريد بإحدى الطرق التالية:

- إمرار تيار من الهواء على رشاش ماء.
- إمرار تيار من الهواء على سطح مبتل كبير.
- دفع قطرات من الماء.

أثر التبريد التبخيري للهواء هو التبريد مع الترطيب. وتمثل عملية التبريد التبخيري (الترطيب الأدياباتي) على خريطة السيكرومتري بخط موازي لخطوط ثبوت الإنثالبي، غير أنه عند التصميمات الهندسية يمكن تمثيل هذه العملية على خط ثبوت درجة الحرارة الرطبة.



شكل (3– 4): الترطيب الأدياباتي

أثر التبريد التبخيري يمكن تلخيصه بالجدول التالي:

	درجة الحرارة الجافة	درجة الحرارة الرطبة	الرطوبة النسبية	الرطوبة النوعية	الحجم النوعي	الانثالبي	درجة الندى
	db	wb	RH	ω	v	h	dp
التبريد التبخيري	↓	↓	↑	↑	↓	=	↑

جدول (3– 2): تأثير الترطيب الأدياباتي على خواص الهواء

إذا كان التأثير لغرفة الرش 100% فإن عملية الرش من A ستتواصل إلى C .التأثير لغرفة الرش يعرف بكفاءة الإشباع saturation efficiency (η_s) وتتراوح عملياً بين 80% إلى 90%.

$$\eta_s = \frac{T_A - T_B}{T_A - T_C}$$
$$= \frac{\omega_A - \omega_B}{\omega_A - \omega_C}$$

مثال2:

$15\frac{m^3}{s}$ من الهواء الرطب عند $45^0C(db)$ و $31^0C(wb)$ تم إمراره خلال رشاشات لغسالة الهواء. إذا كانت كفاءة الإشباع تساوي 90% ، احسب :

- حالة الهواء عند خروجه من غسالة الهواء
- معدل سريان ماء التعويض

$$\eta_s = \frac{\omega_B - \omega_A}{\omega_C - \omega_A}$$

من الخريطة $\omega_A = 0.0226 \ \frac{kg}{kg}$

$$\omega_C = 0.028 \ \frac{kg}{kg}$$

$$0.9 = \frac{w_B - 0.0226}{0.0289 - 0.0226}$$

$$\omega_B = 0.02827 \ \frac{kg}{kg}$$

أيضا يمكن حساب درجة الحرارة بعد عملية الترطيب الأدياباتي عند النقطة B

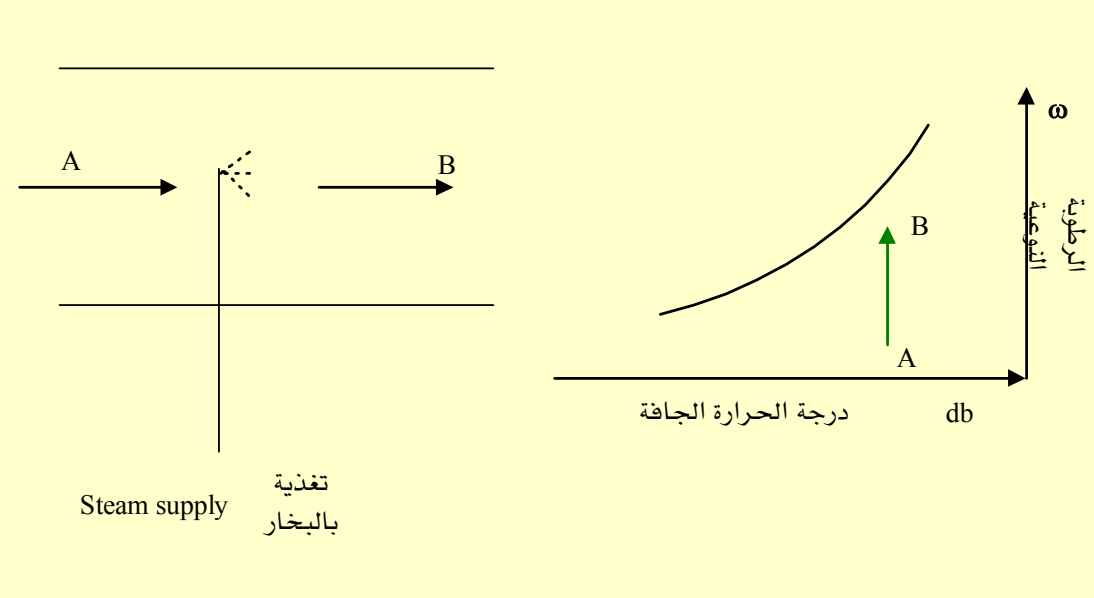
$$\eta_s = \frac{T_A - T_B}{T_A - T_C}$$

$$0.90 = \frac{45 - T_B}{45 - 32.5}$$

$$T_B = 33.75\ ^0C$$

ملحوظة: بواسطة القياس ومعرفة كفاءة الإشباع، يمكن تحديد النقطة B ومن ثم إيجاد أي خاصية من خواص الهواء التي توضحها الخريطة السيكرومترية وهذه تعتبر من أسهل الطرق.

ثالثاً: حقن البخار Steam injection



شكل (3 – 5): حقن البخار

يمكن إضافة الرطوبة إلى الهواء عن طريق حقن بخار الماء كما موضح في الشكل(3- 5)..تحت هذه الظروف ستظل درجة الحرارة الجافة نفسها تقريباً كما يوضح الشكل. نتيجة لذلك ترتفع رطوبة الهواء ودرجة الحرارة الرطبة، طاقة الإنثالبي، الرطوبة النسبية، الحجم النوعي ودرجة الندي.

مثال3:

يدفع بخار عند 100^0C إلى تيار هواء عند $21^0C(db)$ و $RH = 50\%$ بمعدل $1kg$ لكل $150kg$ من الهواء الجاف. ماذا تكون حالة الهواء النهائية.

محتوى الرطوبة للهواء قبل الإجراء $\omega_1 = 0.0079\frac{kg}{kg}$

الرطوبة المضافة $\Delta\omega = \frac{1}{150} = 0.0067\frac{kg}{kg}$

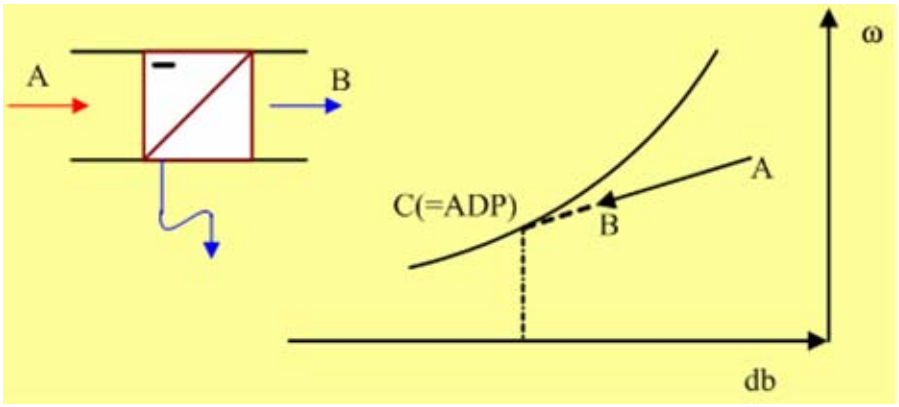
محتوى الرطوبة النهائي $\omega_2 = \omega_1 + \Delta\omega$

$$= 0.0079 + 0.0067 = 0.0146\frac{kg}{kg}$$

رابعاً: عملية التبريد مع إزالة الرطوبة Cooling &dehumidification process

يمكن الحصول على عملية التبريد مع إزالة الرطوبة عندما يبرد الهواء إلى درجة حرارة أقل من درجة الندى للهواء، وعليه يتكثف الهواء ويخرج بمحتوى رطوبة أقل مثال ذلك أن يمرر الهواء خلال ماء

مثلج عند درجة حرارة أقل من الندى أو أن يلامس الهواء سطحا باردا(ملف تبريد) له درجة حرارة أقل من درجة الندى. . الرسم التالي يوضح هذه العملية على الخريطة السيكرومترية.



شكل (3 – 6): عملية التبريد مع إزالة الرطوبة

إذا كانت درجة حرارة خروج الهواء من ملف التبريد عند نفس درجة سطح الملف فإنه يكون عندئذ عند النقطة (ADP). لكنه في الحقيقة لا يصل إلى هذه النقطة إلا إنه في حالة استخدام كميات كبيرة من الماء المثلج في غسالات الهواء– مقارنة بكمية الهواء – ستقترب نقطة الحالة النهائية من درجة حرارة الماء المثلج.

إذا كانت النقطة النهائية القصوى للهواء هي C, وتعرف بنقطة الندى لملف التبريد(ADP) والنقطة الحقيقة للهواء عند خروجه من ملف التبريد هي النقطة B والخط AC يرسم خطا مستقيما لتسهيل العمل، ويعرف ناتج قسمة المسافة AB على المسافة AC بمعامل التلامس (contact factor) لملف التبريد

$$\beta = \frac{AB}{AC}$$

أوباستعمال درجات الحرارة:

$$\beta = \frac{T_A - T_B}{T_A - T_C}$$

كما يمكن تعريف الإمرار الجانبي ($1-\beta$) ما يلي:

$$1-\beta = \frac{BC}{AC}$$

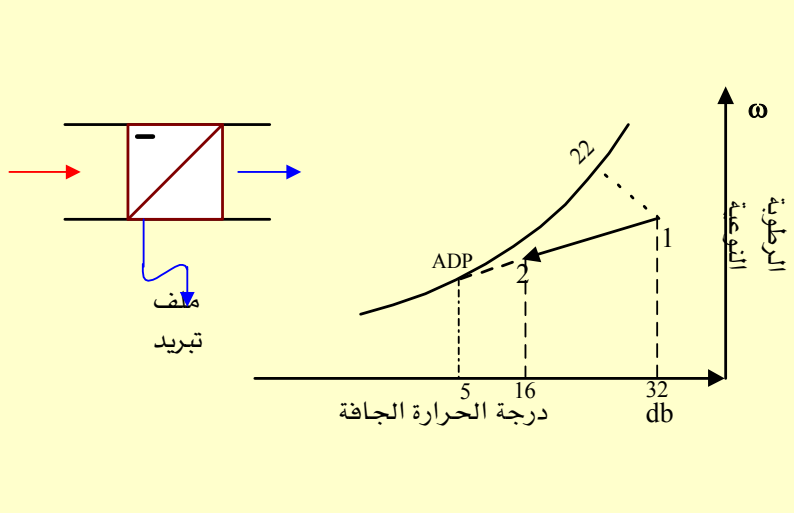
أو

$$1-\beta = \frac{T_B - T_C}{T_A - T_C}$$

مثال4:

هواء خارجي عند $32\ ^0C(db),\ 22\ ^0C(wb)$ تم تبريده مع التكثيف إلى $16\ ^0C$ بواسطة ملف تبريد وذلك قبل إمراره إلى الحيز المكيف.سطح ملف التبريد له درجة حرارة $5\ ^0C$. ارسم هذه العملية على الخريطة السيكرومترية. أوجد خواص الهواء الخارجي وخواص هواء التغذية.احسب معامل التلامس لملف التبريد وأيضا سعة ملف التبريد وكمية ماء التكثيف لكل $1kg$ هواء جاف.

- الشكل التالي يوضح العملية على الخريطة السيكرومترية:



شكل (3– 7):

اقرأ الخواص عند النقطة (1) والتي تبين خصائص الهواء الخارجي وهي:

$db_1= 32\ ^0C,\ wb_1=22\ ^0C,\ RH_1=40\%,\ \omega_1 =0.0123\ kg/kg,$

$h_1=63.7\ hJ/kg \qquad ,v_1=0.882\ m^3/kg \qquad dp_1=17.2\ ^0C$

اقرا الخواص عند النقطة (2) والتي تبين خصائص هواء التغذية وهي:

$-Db_2= 16\ ^0C,\ wb_2=13.2\ ^0C,\ RH_2=73\%,\ \omega_2 =0.0083\ kg/kg,$

$h_2=37\ kJ/kg \qquad ,v_2=0.83\ m^3/kg \qquad dp_2=11.2\ ^0C$

- لحساب معامل التلامس استعمل المعادلة التالية:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_{ADP}} = \frac{32-16}{32-5}$$

$$\eta = \frac{16}{27} = 0.59(59\%)$$

- كمية ماء التكثيف ($\dot{m}_w$)

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a (w_1 - w_2)$$

$$\dot{m}_w = 1(0.0123 - 0.0083) \times 3600$$
$$= 14.4 \text{ kg/hr} = 14.4 \text{ L/hr/kg}$$

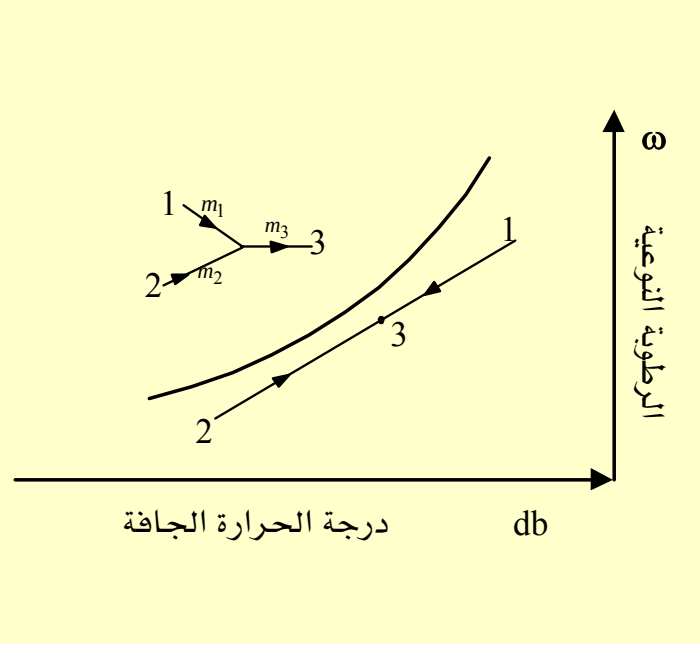
- سعة ملف التبريد (Q_{cc})

$$Q_{cc} = \dot{m}_a (h_1 - h_2)$$
$$= (63.7\text{-}37) = 26.7 \text{ kW /kg}$$

خامساً: الخلط الأدياباتي Adiabatic Mixing

في كثير من الحالات يتم خلط الهواء الخارجي النقي مع الهواء الراجع وذلك في وحدة مناولة الهواء. (AHU) عند خلط أي تيارين من الهواء مع بعضهما يحدث تغير في أحوال الهواء بعد الخلط. عادة يكون خلط مزيجين من الهواء أدياباتياً باعتبار أن كمية فقدان الحرارة مهملا وذلك نسبة لأن وحدة مناولة الهواء غالبا ما تكون معزولة لمنع انتقال الحرارة مع الوسط المحيط.

الشكل يوضح عملية الخلط الأدياباتي حيث (m_1) و(m_2) تياران من الهواء تم خلطهما مع بعضهما لينتج خليطا كتلته (m_3) وخواصه كما تبينه النقطة (3)



شكل (3 – 8): الخلط الأدياباتي

باستعمال قانون حفظ الكتلة:

$$m_1 + m_2 = m_3$$

وبقاء حفظ كتلة بخار الماء

$$m_1 w_1 + m_2 w_2 = m_3 w_3$$

وباستعمال قانون حفظ بقاء الطاقة:

$$m_1 h_1 + m_2 h_2 = m_3 h_3$$

و عليه تم استنتاج الآتي:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{w_3 - w_2}{w_1 - w_3}$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{h_3 - h_2}{h_1 - h_3}$$

من المعادلة السابقة ومن ملاحظة القيم السابقة على الخريطة السيكرومترية، نجد أن نقطة الخلط (3) تقع على الخط الواصل بين النقطتين (2) – (1) ويقسم الخط داخليا بالنسبة العكسية لكتلتي الهواء (m_1) و(m_2).

كما يمكن تحديد نقطة الخلط (3) باستعمال معادلات مشابهة للآتي:

$$T_3 = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2}$$

$$h_3 = \frac{m_1 h_1 + m_2 h_2}{m_1 + m_2}$$

$$w_3 = \frac{m_1 w_1 + m_2 w_2}{m_1 + m_2}$$

مما سبق نلاحظ إن عملية القياس هي أسهل الطرق بينما القيم التي تعطيها أي من المعادلات السابقة هي أدق الطرق.

مثال5:

هواء رطب عند $60\,°C(db), 32\,°C(wb)$ خلط أدياباتيا مع هواء رطب آخر عند درجة حرارة $5°C(db), 0.5\,°C(wb)$ و.إذا كانت كتلتا الهواء الجاف هما 3 kg، 2 kg على التوالي.أوجد طاقة الانثالبي، الرطوبة النوعية والحرارة الجافة للخليط.

باستخدام الخريطة السيكرومترية، تحدد النقطة (1) _ $60\,°C(db)$ و $32°C(wb)$

و تحدد النقطة (2) _ $5°C(db)$ و $0.5°C(wb)$

تقسم المسافة (1) . (2) بنسبة 3:2 لتحديد النقطة (3)

من الخريطة تقرأ الخصائص التالية:

$h_3 = 69 kJ/kg$ و $w_3 = 0.0118 kg/kg$ و $T_3(db) = 38.5°C$

قيم الإنثالبي عند النقاط (1) و (2) هما :

$h_1 = 107.5 kJ/kgK$ $h_2 = 9 kJ/kg\,K$

وباستعمال معادلة الإنثالبي :

(2) وبعدحساب قيمة الإنثالبي h_3 (كما سبق) يمكن تحديد النقطة (3)

مثال6:

$1m^3s^{-1}$ من الهواء الخارجي الرطب عند $-1°C(db),100\%RH$ تم خلطه مع $2m^3s^{-1}$ من الهواء الراجع عند $22°C,50\%RH$. مثل العملية على الخريطة السيكرومترية ثم أوجد حسابياً نقطة حالة الخلط ومن ثم حدد الخواص التالية: الرطوبة النسبية؛ الرطوبة النوعية الإنثالبي والحجم النوعي.

_ حدد النقطتين على الخريطة السيكرومترية ثم أوجد الحجم النوعي عند كل نقطة:

_ النقطة (1) $-1°C(db),100\%RH$

إذن $v_1 = 0.774 m^3/kg$ $h_1 = 7.5 kJ/kgK$

_ النقطة (2) $22°C,50\%RH$

$v_2 = 0.847 m^3/kg$ $h_2 = 43.5 kJ/kgK$

حدد كتلة الهواء الخارجي $(\dot{m}_1)$ $\dot{m}_1 = \frac{1}{0.774} = 1.291 kg/s$

حدد كتلة الهواء الراجع $(\dot{m}_2)$ $\dot{m}_2 = \frac{2}{0.847} = 2.361 kg/s$

كتلة الخلط (هواء التغذية $\dot{m}_3$) هي $\dot{m}_3 = \dot{m}_1 + \dot{m}_2 = 1.291 + 2.361 = 3.652 kg/s$

وباستعمال المعادلة التالية يمكن تحديد نقطة الخلط (3):

$$h_3 = \frac{\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2}{\dot{m}_1 + \dot{m}_2} = \frac{1.291 \times 7.5 + 2.361 \times 43.5}{3.652} = 30.8 kJ/kgK$$

ومن ثم حدد النقطة (3) ومن ثم حدد النقطة على الخريطة. من قراءات الخريطة نحصل على: .

$w_3 = 0.0066 kg/kg$ $(RH)_3 = 65\%$

$v_3 = 0.822 m^3/kg$ $T_3 = 14°C$

خلاصة

- العمليات السيكرومترية التي تمت دراستها هي:

- عمليات التبريد المحسوس: وذلك عندما يتم تبريد الهواء إلى درجة حرارة أعلى من درجة الندى وتكون خط هذه العملية على الخريطة السيكرومترية أفقيا من اليمين إلى اليسار.
- عمليات التسخين المحسوس حيث يتم تسخين الهواء كهربيا أو عن طريق الماء الساخن (ملفات تسخين) وبذلك تزداد درجة حرارة الهواء (عملية أفقية من اليسار إلى اليمين)
- عملية الترطيب الأدياباتي وهي تمثل عمليات المكيف الصحراوي وهي تكون عند ثبوت طاقة الانثالبي، غير أن كثيرا من المصممين يعتبرون هذه العملية عند ثبوت درجة الحرارة الرطبة .
- عملية حقن البخار: عملية رأسية على الخريطة السيكرومترية مع ثبوت درجة الحرارة الجافة تقريبا وزيادة كمية رطوبة الهواء
- عملية التبريد مع ازالة الرطوبة حيث يتم تبريد الهواء إلى درجة حرارة أقل من درجة الندى .

تمارين

1- هواء رطب عند $30°C(db), w = 0.0102kg/kg$ تم تسخينه بمقدار $10\ °C$. ارسم هذه العملية على الخريطة السيكرومترية ثم أكمل الجدول التالي إلى حالة الهواء بعد التسخين وذلك باستعمال الرموز التالية: (←) = ثابت، (↑) = زيادة، (↓) = نقصان

العملية	db	wb	RH	w	v	h	dp
تسخين محسوس							

2 - إذا أريد تسخين (محسوس) $16kg/s$ من الهواء الرطب عند $15°C(db)$ ورطوبة نوعية $0.005kg\ H_2O/kg$ بمقدار $15°C$. احسب سعة ملف التسخين .

3- ـ سخان كهربائي تم تركيبه في مجرى هوائي لتسخين (تسخين محسوس) $200kg/hr$ هواء من $20°C(db),50\%RH$ إلى. أوجد سعة السخان حسابياً وبواسطة الخريطة السيكرومترية.

4- $1.5\,m^3/s$ من الهواء الرطب عند $45\ °C(db)\ ,30\ °C\ (wb)$ تدخل غرفة بها رشاشات لغسالة هواء (ترطيب أديباتى). إذا كانت درجة حرارة الهواء الجافة عند الخروج تساوي 22 درجة مؤوية أوجد: ـ

1 ـ كفاءة الإشباع 2- معدل سريان ماء التعويض.

5- $1.5m^3/s$ من الهواء الرطب عند $30\ °C\ (db),\ w = 0.0102\ kg/kg$ تم تبريده خلال ملف التبريد إلى $10\ °C\ (db)$. إذا كانت درجة سطح ملف التبريد $5\ °C$. ارسم هذه العملية على الخريطة السيكرومترية ومن ثم أوجد:

ـ معامل التلامس لملف التبريد

ـ سعة ملف التبريد

6- $720\,m^3/min$ (متر3 / الدقيقة) من الهواء الرطب عند الأحوال $30°C(db),24°C(wb)$ تدخل ملف تبريد وتخرج من ملف التبريد عند الأحوال التالية: ـ $15°C(db),90\%RH$. أوجد سعة وكفاءة ملف التبريد وكمية ماء التكثيف بوحدة L/ hr .

7- هواء بارد عند $12°C(db),20\%RH$ تم تسخينه إلى $37°C(db)$ ومن ثم ترطيبه أديباتيا إلى $RH = 90\%$.ارسم هاتين العمليتين على الخريطة السيكرومترية ومن ثم احسب كفاءة الترطيب.

8- $0.5m^3/s$ من الهواء الرطب عند $45°C(db),25°C(wb)$ تم تبريدها إلى $38°C(db)$ بواسطة الماء البارد ثم بعد ذلك تم ترطيبها أديباتيا في غسالات الهواء.بافتراض كفاءة الترطيب لغسالات الهواء تساوي 90% ،

أ ـ ارسم العمليتين أعلاه على الخريطة السيكرومترية

ب ـ أوجد كمية ماء الترطيب

9- $2kg/s$ من الهواء الرطب عند $35°C(db),30°C(wb)$ تم خلطها مع $0.2kg/s$ من الهواء الرطب عند $10°C\ ,\ 100RH$.أوجد خواص الهواء عند نقطة الخلط..

10- تم خلط $10kg/s$ من الهواء عند $40°C(db),25°C(wb)$ مع $15kg/s$ من الهواء عند الأحوال $20°C(db),50\%RH$. أوجد الأحوال التالية للهواء الخليط: ـ

I ـ درجة الحرارة الجافة II ـ الحجم النوعي III ـ درجة الندى.

11- غرفة عند $24°C(db),50\%RH$. وحالة الهواء الخارجي $4°C(db),50\%RH$. الهواء الراجع من الغرفة يبرد و تزال رطوبته بعد خلطه مع الهواء الخارجي. إذا كانت نسبة الهواء الراجع % 40 ونسبة الهواء النقي (الخارجي) % 60 . أوجد درجة الحرارة الجافة والرطوبة النوعية للهواء الخليط.

12- في وحدة مناولة هواء (AHU) يتم خلط $0.8kg/s$ من الهواء الخارجي عند $40°C(db),28°C(wb)$ مع $2.4kg/s$ من الهواء الراجع $24°C(db),50\%$. يتم إمرار الهواء المخلوط خلال ملف تبريد مائي له درجة حرارة السطح تساوي $ADP = 8°C$. بافتراض معامل التلامس لملف التبريد $\eta = 80\%$ ارسم العمليات الخريطة السيكرومترية ومن ثم أوجد :

أ ـ سعة ملف التبريد

ب ـ كمية الرطوبة المزالة

13- في نظام تكييف ذي مسلك واحد ، يتم خلط $1.5kg/s$ من الهواء الخارجي (عند $-4°C(db),80\%RH$ مع $4.5kg/s$ من الهواء الراجع له خواص $20°C(db),50\%RH$. بعد ذلك يتم تسخين الهواء المخلوط إلى $35°C(db)$ ثم يرطب أديباتيا إلى $19°C(db)$.ارسم هذه العمليات الخريطة السيكرومترية ومن ثم أوجد :

أ ـ سعة ملف التسخين

ب ـ كمية ماء الترطيب

أساسيات تقنية تكييف الهواء

ظروف التصميم

الجدارة: معرفة ظروف التصميم لتكييف الهواء

الأهداف:

عندما تكمل هذه الوحدة تكون قادرا على:

- معرفة ظروف التصميم الخارجية والداخلية لتكييف الهواء.
- معرفة العوامل التي تؤثر على راحة الانسان.
- معرفة ظروف الراحة صيفاً وشتاءً.
- تحديد نقطة التغذية للهواء.
- تحديد معامل الحرارة المحسوسة وتمثيل خط الغرفة على الخريطة السيكرومترية.
- معرفة متطلبات التهوية.

مستوى الأداء المطلوب:

أن يصل المتدرب إلى الإتقان الكامل لهذه الجدارة وبنسبة 100٪.

الوقت المتوقع للتدريب:

3 ساعات تدريبية.

الوحدة الرابعة : ظروف التصميم

Design Conditions

مقدمة

تؤثر ظروف التصميم الداخلية والخارجية على مقدار الأحمال الحرارية للحيز المكيف وعليه يتم اعتبار قيم معينة لدرجة الحرارة الجافة والرطبة وكذلك الرطوبة النسبية لكل من أحوال التصميم الخارجية و الداخلية. وعادة يتم اختيار وحدة نظام التكييف أكبر وقد تعمل في كثير من الأحوال عند أحمال جزئية مما يقلل من كفاءة الوحدة، لكنه وجد أنه في الحالات الحرجة ولمدة محددة من الوقت أن نقصان حجم وحدة التكييف بمقدار بسيط قد لا يؤثر كثيرا على راحة الإنسان وعليه غالبا يكون الاختيار على 97.5% من أحوال التصميم.

ظروف التصميم: Design Conditions

أ- الظروف الخارجية Outdoor Conditions

بالنسبة لمدينة الرياض مثلاً قد تم اختيار شهر يوليو ليناسب أحوال التصميم الخارجية مع اعتبار القيم التالية كأحوال تصميم خارجية صيفا:

a- dry-bulb temperature (db) $43°C$ b- wet-bulb temperature (wb) $26°C$

بالنسبة لمدينة الرياض قد تم اختيار شهر يناير ليناسب أحوال التصميم الخارجية مع اعتبار القيم التالية كأحوال تصميم خارجية شتاء:

a- dry-bulb temperature (db) $3°C$ b- wet-bulb temperature (wb) $0°C$

hr	Jan.		Feb.		Mar.		Apr.		May		Jun.	
	db	wb	db	wb	db	wb	db	wb	db	wb	db	wb
1	15.38	12.44	17.00	14.22	20.33	17.28	22.89	18.61	25.67	20.56	27.33	21.61
2	14.44	12.06	16.11	13.89	19.44	17.00	22.00	18.33	24.78	20.06	26.44	21.38
3	13.72	11.83	15.39	13.61	18.72	16.72	21.28	18.11	24.06	19.83	25.72	21.17
4	13.17	11.61	14.83	13.39	18.17	16.56	20.72	17.89	23.50	19.67	25.17	21.00
5	13.00	11.50	14.67	13.33	18.00	16.50	20.56	17.89	23.33	19.61	25.00	20.94
6	13.33	11.67	15.00	13.44	18.33	16.61	20.89	17.94	23.67	19.72	25.33	21.06
7	14.22	12.00	15.89	13.78	19.22	16.89	21.78	18.28	24.56	20.00	26.22	21.28
8	15.83	12.67	17.50	14.39	20.83	17.44	23.39	18.78	26.17	20.44	27.83	21.78
9	18.17	13.50	19.83	15.22	23.17	18.17	25.72	19.44	28.50	21.11	30.17	22.39
10	20.83	14.50	22.50	16.17	25.83	19.00	28.39	20.28	31.17	21.89	32.83	23.11
11	23.83	15.56	25.50	17.17	28.83	19.49	31.39	21.11	34.17	22.67	35.83	23.83
12	26.67	16.56	28.33	18.06	31.67	20.72	34.22	21.89	37.00	23.39	38.67	24.56
13	28.83	17.28	30.50	18.72	33.83	21.33	36.39	22.50	39.17	23.94	40.83	25.11
14	30.22	17.72	31.89	19.17	35.22	21.72	37.78	22.83	40.56	24.33	42.22	25.44
15	30.78	17.89	32.44	19.33	35.78	21.89	38.33	23.00	41.11	24.44	42.78	25.56
16	30.22	17.72	31.89	19.17	35.22	21.72	37.78	22.83	40.56	24.33	42.22	25.44
17	29.00	17.33	30.76	18.78	34.00	21.39	36.11	22.56	38.89	24.00	41.00	25.17
18	27.06	16.67	28.72	18.17	32.06	20.83	34.61	22.00	37.39	23.50	39.06	24.67
19	24.72	15.89	26.39	17.44	29.72	20.22	32.28	21.39	35.06	22.89	36.72	24.11
20	22.44	15.11	24.11	16.67	27.44	19.50	30.00	20.72	32.78	22.28	34.44	23.50
21	20.44	14.39	22.11	16.00	25.44	18.89	28.00	20.17	30.78	21.78	32.44	23.00
22	18.67	13.72	20.33	15.39	23.67	18.33	26.22	19.61	29.00	21.28	30.67	22.50
23	17.28	13.22	18.94	14.94	22.28	17.89	24.83	19.22	27.61	20.89	29.28	22.17
24	16.22	12.78	17.89	14.50	21.22	17.56	23.78	18.89	26.56	20.56	28.22	21.83

جدول (4 – 1): درجات الحرارة الجافة والرطبة لمدينة الرياض

Riyadh Cooling Design Temperature Profile

hr	July		August		Sept.		Oct.		Nov.		Dec.	
	db	wb	db	wb	db	wb	db	wb	db	wb	db	wb
1	27.09	21.61	27.89	21.61	26.44	20.56	24.00	19.00	19.78	16.89	16.44	13.78
2	27.00	21.39	27.00	21.39	25.56	20.33	23.11	18.72	18.89	16.56	15.56	13.44
3	26.28	21.17	26.28	21.17	24.83	20.11	22.39	18.50	18.17	16.33	14.83	13.17
4	25.72	21.00	25.72	21.00	24.28	19.94	21.83	18.33	17.61	16.17	14.82	13.00
5	25.56	20.94	25.56	20.44	24.11	19.89	21.67	18.28	17.44	16.11	14.11	12.94
6	25.89	21.05	25.89	21.05	24.44	20.00	22.00	18.39	17.78	16.22	14.44	13.06
7	26.78	21.28	26.78	21.28	25.33	20.24	22.89	18.67	18.67	16.50	15.33	13.38
8	28.39	21.78	28.39	21.78	26.94	20.72	24.50	19.17	20.28	17.06	16.94	14.00
9	30.72	22.79	30.72	22.39	29.28	21.39	26.83	19.83	22.61	17.78	19.28	14.83
10	33.39	23.11	33.39	23.11	31.94	22.11	29.05	20.61	25.28	18.67	21.94	15.78
11	36.39	23.89	36.39	23.89	34.94	22.89	32.50	21.50	28.27	19.56	24.94	16.78
12	39.22	24.56	39.22	24.56	37.78	23.67	35.33	22.22	31.11	20.39	27.78	17.72
13	41.39	25.11	41.39	25.11	39.94	24.17	37.50	22.83	33.28	21.00	29.94	18.39
14	42.78	25.44	42.78	25.44	41.33	24.56	38.89	23.22	34.67	21.39	31.33	18.83
15	43.33	25.56	43.33	25.66	41.89	24.67	39.44	23.33	35.22	21.56	31.89	19.00
16	42.78	25.44	42.78	25.44	41.33	24.56	38.89	23.22	34.67	21.39	31.33	18.83
17	41.56	25.17	41.56	25.17	40.11	24.22	39.67	22.89	33.44	21.06	30.11	18.44
18	39.61	24.67	39.61	24.67	38.17	23.72	35.72	22.33	31.50	20.50	28.17	17.83
19	37.28	24.11	37.28	24.11	35.83	23.17	33.39	21.72	29.17	19.83	25.83	17.11
20	35.00	23.50	35.00	23.50	33.56	22.56	31.11	21.11	26.89	19.17	23.56	16.33
21	33.00	23.00	33.00	23.00	31.56	22.00	29.11	20.50	24.89	18.50	21.56	15.61
22	31.22	22.56	31.22	22.56	29.78	21.50	27.33	20.00	23.11	17.94	19.78	15.00
23	29.83	22.17	29.83	22.17	28.39	21.11	25.94	19.61	21.72	17.50	18.39	14.50
24	28.78	21.83	28.78	21.83	27.33	20.83	24.89	19.28	20.67	17.17	17.33	14.11

جدول (4 – 2): درجات الحرارة الجافة والرطبة لمدينة الرياض

Riyadh Cooling Design Temperature Profile

ب- الظروف الداخلية Indoor Conditions

لنظام تكييف هواء مريح تستعمل نظم التكييف للمباني العامة والتجارية الأحوال التالية :-

أ - صيفاً

درجة الحرارة الجافة $a: 23.5°C \rightarrow 25.5°C$

- الرطوبة النسبية $b: 40RH \rightarrow 60RH$

ب - شتاء

درجة الحرارة الجافة $a: 21.5°C \rightarrow 23.5°C$

الرطوبة النسبية $b: 20RH \rightarrow 30RH$

وهذه الأحوال تختلف حسب اختلاف نوع الحيز المكيف.

نقطة التغذية للغرفة Room Supply Point

ومن ضمن ظروف التصميم التي يجب أخذها في الاعتبار نقطة التغذية للغرفة كدرجة الحرارة الجافة والرطوبة النوعية. وتعبر نقطة التغذية عن حالة هواء التغذية للغرفة المكيفة ممثلاً على الخريطة السيكرومترية. ويتم عادة تغذية الهواء عند نقطة التغذية على النحو التالي:-

$(t_S = t_R - \Delta t)$ (صيفاً) وتكون في حدود $(\Delta t = 8-12°C)$ حسب توصية **ASHRAE**.

$(t_S = t_R + \Delta t)$ (شتاءً) وتكون في حدود $(\Delta t = 15-20°C)$ حسب توصية **ASHRAE**.

الحرارة المحسوسة Sensible heat (Q_s)

الحرارة المحسوسة هي التي تؤثر على درجة حرارة الهواء (زيادة أو نقصان) ولا تؤثر على نسبة الماء في الهواء مثال ذلك تسخين الهواء كهربائيا أو عن طريق ملفات التدفئة مثلا..

يمكن حساب الحرارة المحسوسة من القانون التالي:

حيث:

معدل سريان الهواء $\dot{m}_a = \{kg/s\}$

الحرارة النوعية للهواء $c_p = \{kJ/kgK\}$

الفرق في درجات الحرارة $\Delta T = \{°C\}$

الحرارة الكامنة Latent heat(Q_l)

هي الحرارة التي تغير من حالة المادة دون إحداث تغير في درجة الحرارة الجافة وبالنسبة للهواء فالحرارة الكامنة هي التي تؤثر على نسبة كمية بخار الماء في الهواء فقط وهي تحسب عن طريق :

حيث :

الحرارة الكامنة للهواء $h_{fg} = \{kJ/kg\}$

كمية التغير في رطوبة الهواء $\Delta w = \{kg/kg\}$

التغير في طاقة الإنثالبي $\Delta h = \{kJ/kg\}$

معادلات الحرارة المحسوسة و الحرارة الكامنة تستخدم لإيجاد أحوال التغذية المطلوبة.

مثال:

حيز مكيف له حمل محسوس $Q_s = 16kW$ وحمل كامن $Q_l = 6.4kW$. يراد الاحتفاظ بالحيز المكيف عند $25°C\,(db),\ 50\%\,R.H.$ حدد أحوال نقطة التغذية.

من معادلة الحرارة المحسوسة $Q_S = \dot{m}_a \times c_p \times \Delta t$

$$T_R - T_S = \frac{Q_S}{\dot{m}_a \times c_p} = \frac{16}{1.5 \times 1.006} = 10.6°C$$

$$\therefore\ T_R - T_S = 10.6°C$$

عليه تكون درجة الحرارة الجافة لهواء التغذية $T_S = 25 - 10.6 = 14.4°C$

ومن المعادلة: $Q_l = \dot{m}_a \times h_{fg} \times \Delta w$

$$\Delta\omega = w_R - w_S = \frac{Q_l}{\dot{m}_a \times h_{fg}}$$

ومن الجداول $h_{fg} = 2500\,kJ/kg$

عليه يكون التغير في كمية الرطوبة لهواء التغذية:

$$\Delta\omega = w_R - w_S = \frac{Q_l}{\dot{m}_a \times h_{fg}} = \frac{6.4}{1.5 \times 2500} = 0.0017\,kg/kg$$

وبما إن $w_R = 0.012\,kg/kg$ عليه تكون رطوبة هواء التغذية هي:-

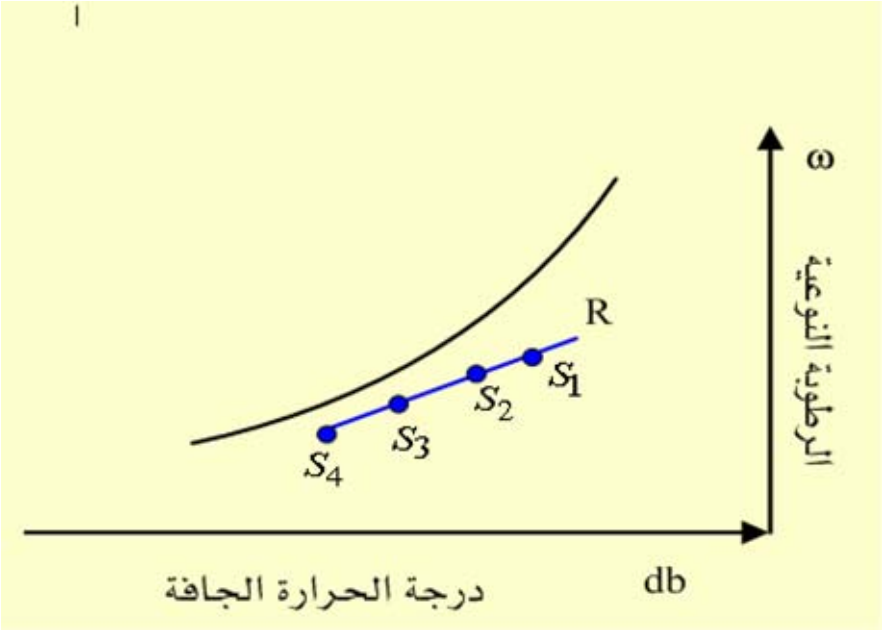
$$\omega_S = \omega_R - \Delta\omega = 0.0102 - 0.0017 = 0.0085\,kg/kg$$

وبمعرفة درجة الحرارة الجافة وكمية الرطوبة لنقطة التغذية يمكن تحديد نقطة التغذية (S) على الخريطة السيكرومترية.

إذا تم تغيير معدل سريان الهواء مع بقاء حالة هواء الغرفة عند $25°C(db),50\%RH$ من $1.5kg/s$ إلى الكميات الأخرى الموضحة بالجدول (4- 3).

نقطة التغذية	معدل السريان ($\dot{m}$)	حالة نقطة التغذية (S)	
		درجة الحرارة الجافة (db)	الرطوبة النوعية (ω)
	kg/s	$°C$	kg/kg
S_1	1.5	14.4	0.0085
S_2	2.5	18.6	0.0092
S_3	3.0	19.7	0.0093
S_4	3.5	20.5	0.0095

جدول (4 – 3):



شكل (4 – 1): خط معامل الحرارة المحسوس للغرفة

نجد أن حالة نقطة التغذية (S) تتغير مع ملاحظة أن النقاط S_1, S_2, S_3, S_4, R تقع على خط مستقيم وهذا الخط يسمى بمعامل الحرارة المحسوسة(SHF) Sensible heat factor وأيضا يسمى بخط نسبة الحرارة المحسوسة للغرفة (RSHR) Room Sensible Heat Ratio line

معامل الحرارة المحسوسة Sensible heat factor (SHF)

تعرف نسبة الحمل المحسوس لأي حيز منسوبا إلى الحمل الكلي لهذا الحيز بمعامل الحرارة المحسوسة **sensible heat factor (SHF)** :

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

هذا الخط يبدأ من نقطة أحوال الحيز (الغرفةR) مارا بنقطة التغذية S.

في كثير من الخرائط السيكرومترية، نجد أن نسب معامل الحرارة المحسوسة (SHF) تكون على شكل تدرج يشبه المنقلة موجود في الجانب العلوي الأيسر من الخريطة .ويكون خط نسبة الحرارة المحسوسة للغرفة موازياً لخط نسب معامل الحرارة المحسوسة المناظر له المنقلة.

الراحة الحرارية للانسان: 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 ويزداد معدل انتقال الحرارة إلى الخارج عن طريق التوصيل، الحمل والإشعاع . إذا لم يتم التخلص من هذه الحرارة بسرعة، عندئذ يبدأ الجسم بالتعرق 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 ويقل معدل سريان الدم الواصل إلى الجلد الخارجي. Perspiration slows down. عليه تقل كمية الحرارة المفقودة بواسطة سطح الجلد.

وعليه تكون من وظيفة أي نظام تكييف للهواء مساعدة الجسم في معدل التخلص من كمية الحرارة الزائدة.

ويمكن القول بأن الحرارة التي ينتجها الجسم من تناوله للأطعمة، تعادل تلك الحرارة التي يفقدها الجسم إلى الخارج..تم كتابة معادلة لتلك الحرارة بواسطة فانقر 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 أن 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 :

هنالك ستة عناصر تؤثر على راحة الإنسان. منها أربعة عناصر بيئية وهي :

أ – درجة الحرارة الجافة (dry bulb temperature)

ب ـ متوسط درجة الحرارة الإشعاعية (mean radiant temperature)

ج ـ نسبة الرطوبة (relative humidity)

د ـ سرعة الهواء (air velocity)

وهناك عنصران شخصيان هما :

هـ ـ العزل نتيجة الملابس (clothes insulation)

و ـ 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 أن درجة الحرارة المؤثرة في الشتاء هي (^{0}F(20 ^{0}C) 68 كما أن 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

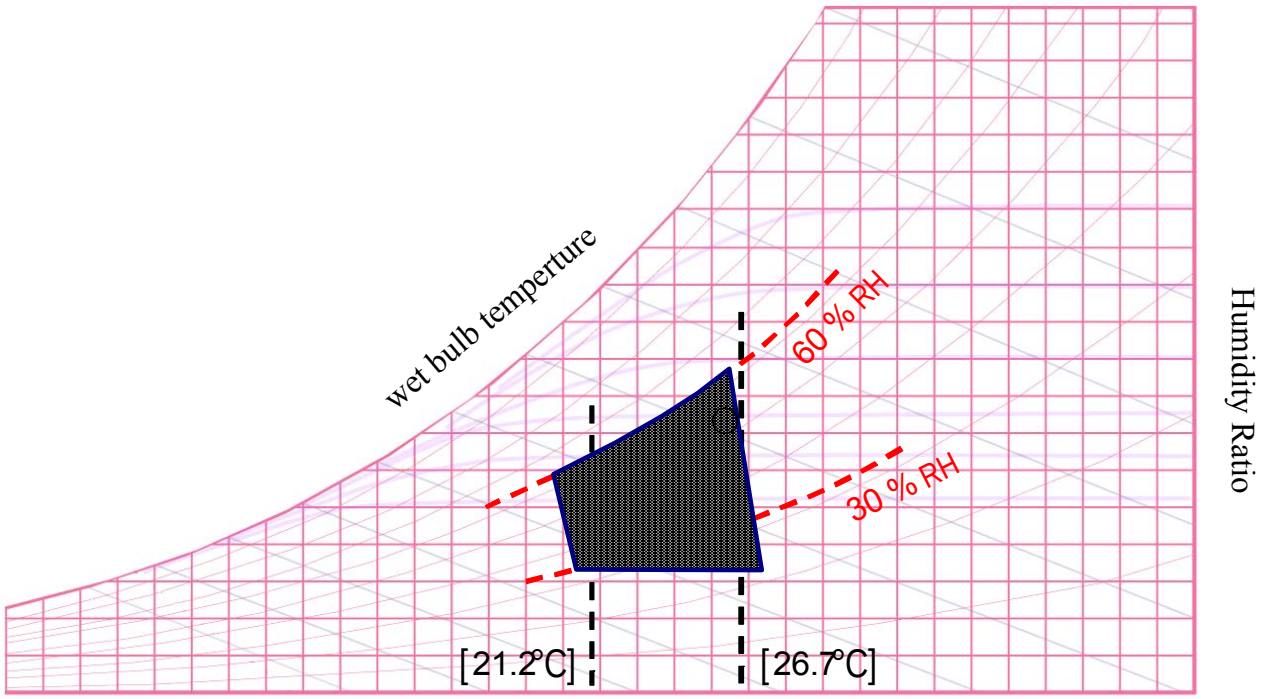
جدول (4 – 4): درجات الحرارة المؤثرة (شتاءاً)

أما في الصيف فدرجة الحرارة المؤثرة هي 71 ^{0}F (22 ^{0}C) 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 (4 – 5): 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 مستريح أو يزاول نشاطا خفيفا ويلبس لبسا عاديا عند هواء منخفض السرعة



شكل (4 – 2): منطقة الراحة

ب ـ سرعة الهواء

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

متطلبات التهوية : Ventilation Requirements

يوضح الجدول (4- 5) متطلبات التهوية من الهواء الخارجي لبعض الأنشطة والاستخدامات لتوفير الهواء النقي اللازم للتنفس. يتم تحديد تلك النسب إما باحتياج الشخص للهواء النقي باللتر لكل ثانية $\left(L/_S\right)$ أو بعدد مرات تغيير الهواء في الساعة داخل الأماكن المكيفة [Air changes per hour (ACH)].

م	المكان	ACH	$\left(L/_S\right)$ لكل شخص
.1	مكاتب	1.5-3	10
.2	مطابخ	10-20	8
.3	قاعات دراسية	20	8
.4	صالات اجتماعات	5	10
.5	معامل	5	10
.6	مطاعم	4	10
.7	غرف مرضى	2	13
.8	مصانع	2-4	10
.9	محلات تجارية	0.5-1	8

جدول (4- 6): يوضح متطلبات التهوية لبعض التطبيقات

خلاصة

- تشمل ظروف التصميم : الظروف الخارجية (درجة الحرارة والرطوبة النسبية) و الظروف الداخلية (درجة الحرارة والرطوبة النسبية) بالاضافة الى نقطة التغذية وتعتمد هذه الظروف على الموقع الجغرافي للمنطقة وطبيعة استخدام الحيز المراد تكييفه.
- معامل الحرارة المحسوس (SHF) للغرفة يعبر عن نسبة الحرارة المحسوسة إلى الحرارة الكلية للحيز المكيف ويساعد في رسم وتحليل عمليات التكييف المختلفة.
- العوامل التي تؤثر على راحة الإنسان هي : درجة الحرارة، الرطوبة ، حرارة الإشعاع : سرعة الهواء ، حركة الشخص ونقاوة الهواء.
- خريطة منطقة الراحة : تعطي العلاقات المختلفة بين درجات الحرارة والرطوبة والتي يشعر فيها للشخص البالغ بالراحة وهو مستريح أو يزاول نشاطا خفيفا ويلبس لبسا عاديا عند هواء منخفض السرعة
- تعتمد متطلبات التهوية على عدد مرات تغيير الهواء في الساعة أو معدل الهواء اللازم لتنفس شخص واحد وتختلف قيمة متطلبات التهوية على حسب طبيعة استخدام نظام التكييف أوعدد الاشخاص.

تمارين

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

2- ما المقصود بعوامل التصميم الداخلية والخارجية ؟ وكيف تختارها؟

3- $1.0m^3/s$ من الهواء الرطب عند $32°C(db), 28°C(wb)$ تم تبريده إلى $20°C(db), 100\%RH$. أوجد كمية الحرارة الكامنة والمحسوسة اللازمة لتبريد هذا الهواء.

4- لحيز مكيف عند وجد إن فرق درجات الحرارة بين نقطة التغذية (S) وأحوال الحيز (R) تساوي $\Delta T = 9K$. مستعينا بالخريطة السيكرومترية أوجد أحوال نقطة التغذية إذا علمت الآتي:

i ـ معامل الحرارة المحسوس للغرفة $SHF = 80\%$

ii ـ الأحوال الخارجية $5°C(db), 50\%RH$

5- غرفة عند $21°C(db), 50\%RH$ لها حملها المحسوس 14 kW والحمل الكامن 1.5 kW ودرجة الحرارة الجافة لنقطة التغذية هي $12°C$. أوجد معامل الحرارة المحسوس للغرفة ثم الرطوبة النوعية لنقطة التغذية.

أساسيات تقنية تكييف الهواء

دورات تكييف الهواء

الجدارة: معرفة دورات تكييف الهواء الصيفية والشتوية.

الأهداف:

عندما تكمل هذه الوحدة تكون قادرا على:

- رسم الدورة الصيفية والدورة الشتوية لنظام تكييف هواء مبسط.
- تحديد نقاط التصميم على خريطة السيكرومتري.
- تحليل دورات التكييف.

مستوى الأداء المطلوب:

أن يصل المتدرب إلى الإتقان الكامل لهذه الجدارة وبنسبة 100٪.

الوقت المتوقع للتدريب:

3 ساعات تدريبية.

الوحدة الخامسة : دورات تكييف الهواء

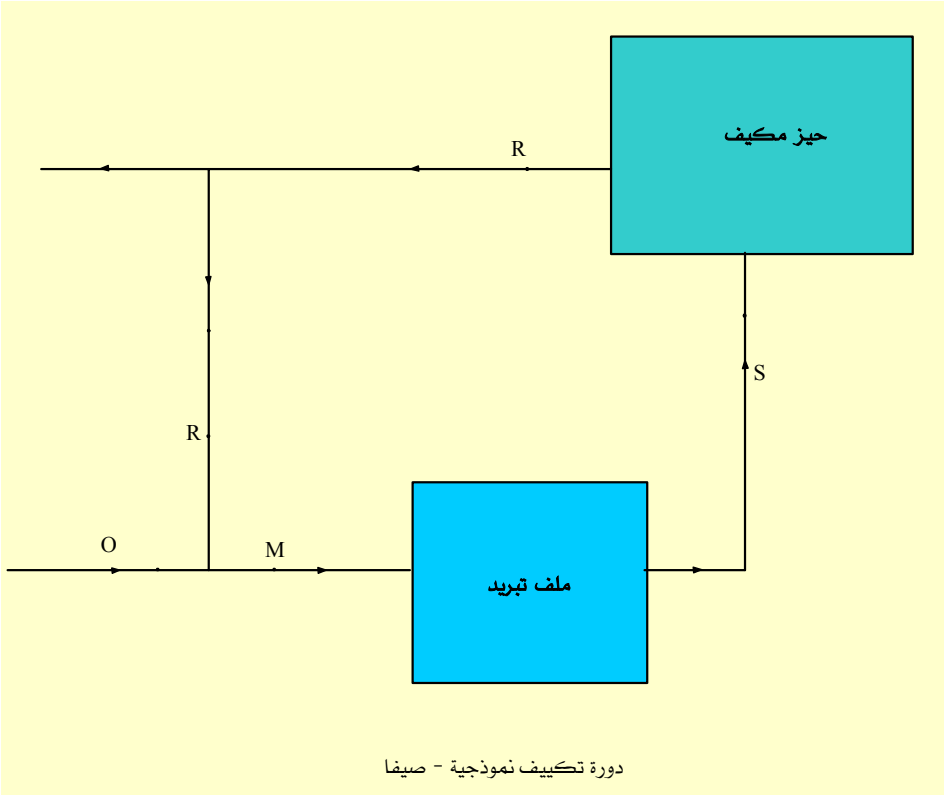
Air Conditioning Cycles

مقدمة

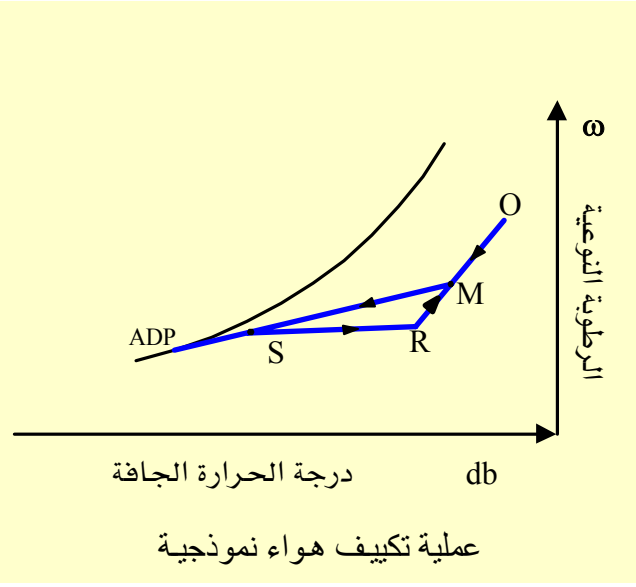
الدورة الأساسية للتكييف تتكون عادة من عدة عمليات تكييف متصلة مع بعضها لتعطي الأحوال النهائية المطلوبة للحيز المكيف. التحليل السيكرومتري لدورة التكييف هو الأداة الرئيسة لتحديد أحوال الهواء عند مختلف النقاط لهذه الدورة، وكذلك لتحديد السعات والكميات الأخرى لدورة التكييف. مثال ذلك تحديد نقطة الخلط، سعة ملف التبريد و/أو التسخين، كمية الرطوبة المزالة...الخ .وعادة يمكن تقسيم دورة التكييف إلى دورة تكييف مفتوحة open air conditioning (cycle) (بدون هواء راجع) أو دورة تكييف مقفلة (مع هواء راجع).

دورات التكييف الأساسية : Basic Air Conditioning Cycle

الدورة الصيفية : Summer Cycle



شكل (5 – 1): نظام تكييف هواء صيفي



شكل (5 –1): تمثيل الدورة الصيفية على خريطة السيكرومتري

يلاحظ فيها أن ظروف الخليط M تقع على خط يصل بين ظروف الغرفةR وظروف الهواء الخارجي O. موقع النقطة M يعتمد على كميات الهواء التي يتم خلطها.فإذا كان الخليط يتكون من 75% من هواء الغرفة (الهواء الراجع) و 25% من هواء التهوية (الهواء الخارجي النقي) فإن M تقع على بعد25% من طول الخط من النقطة R.

وأفضل طريقة لحساب موقع نقطة الخلطM هو استعمال درجة حرارة البصيلة الجافة (db)كمرجع فإذا كانت الغرفة عند $24°C(db)$ والجو المحيط عند $36°C(db)$فإن النقطة M ستكون عند:

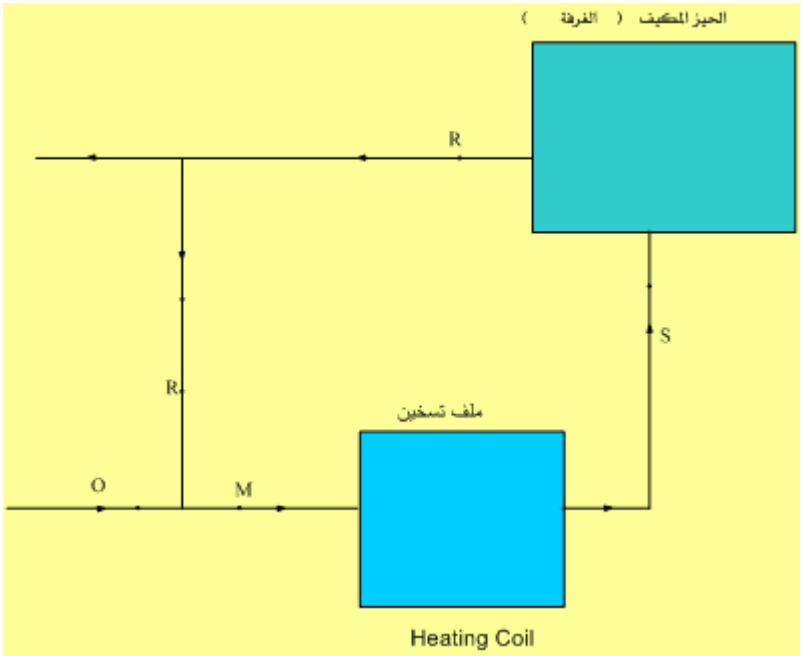
$$T_M = \frac{m_O T_O + m_R T_R}{m_O + m_R}$$

$$T_M = \frac{0.25 \times 36 + 0.75 \times 24}{0.25 + 0.75} = 27°C(db)$$

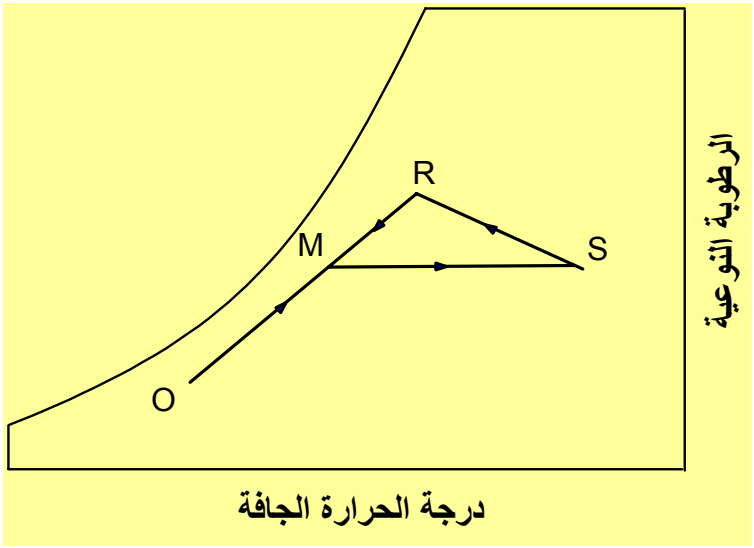
إذا كانت فاعلية ملف التبريد $\eta = 100\%$ فسيبرد كل الهواء إلى درجة الحرارة الفاعلة لسطح الملف أي النقطة ADP (نقطة الندى لملف التبريد) وتعتمد عموما فاعلية الملف على شكله الهندسي إضافة إلى سرعة الهواء خلال الملف. النقطة S تقع على خط معامل الحرارة المحسوس (SHF) للغرفة وعلى امتداد النقطتين M و (ADP).

بعد تحديد كل النقاط يمكن حساب كل من معدل سريان الهواء وسعة ملف التبريد وكمية ماء التكثيف كما أسلفنا.

الدورة الشتوية: Winter Cycle



شكل (5 – 2): نظام تكييف هواء شتوي



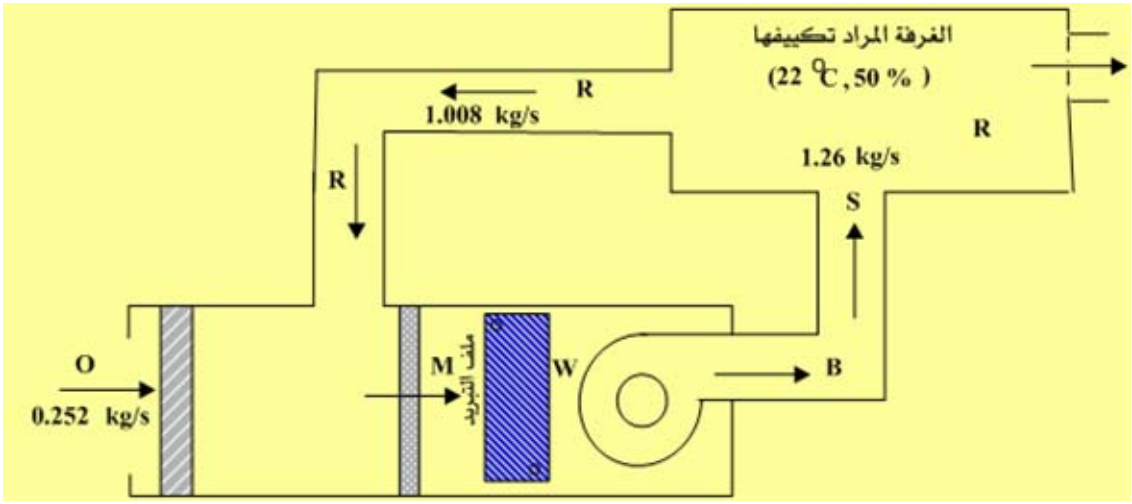
شكل (5 – 4): تمثيل الدورة الشتوية على خريطة السيكرومتري

دراسة حالة : Case Study

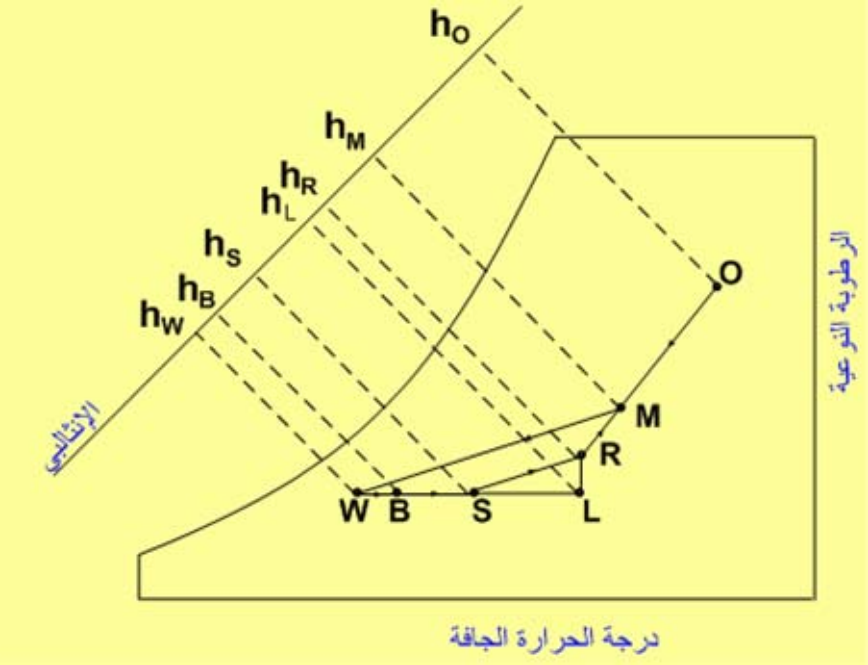
جهاز التكييف الموضح في الشكل (5- 5) له المواصفات التالية:

- معدل سريان كتلة هواء التغذية supply air $= 1.26\ {}^{kg}/_{s}$
- ملف التبريد يستقبل هواء نقياً من الخارج fresh air بنسبة 20% وهواء راجع return air بنسبة 80%
- ظروف الهواء النقي هي $28^{\circ}C\ D.B, 19.5^{\circ}C\ W.B$
- ظروف الهواء الراجع هي $22^{\circ}C\ D.B, 50\%\ R.H$
- ظروف الهواء المخلوط الخارج من ملف التبريد هي $10^{\circ}C\ D.B, 0.00735\ {}^{kg}/_{kg\ dry\ air}$

أرسم النظام ثم مثله على خريطة السيكروميتري ومن ثم أوجد حمل التبريد ومكوناته (الحمل المحسوس ، الحمل الكامن ، حمل التهوية ، الحمل نتيجة للمروحة ومجاري الهواء) ومعامل الحرارة المحسوسة SHF إذا علم أن هنالك ارتفاعاً في درجة حرارة التغذية بمقدار $1^{\circ}K$ نتيجة للمروحة و $2^{\circ}K$ نتيجة لمجاري الهواء.



شكل (5 – 5): دراسة حالة



شكل (5 – 6): الخريطة السيكرومترية لدراسة الحالة

$h_O = 55.36 kJ/kg$ $\quad h_R = 43.39 kJ/kg$

$h_M = 0.8 \times 43.39 + 0.2 \times 55.36 = 45.784 kJ/kg$ $\quad h_W = 28.6 kJ/kg$

$h_B = 29.6 kJ/kg$ $\quad h_S = 31.6 kJ/kg$

$h_L = 40.8 kJ/kg$

سعة ملف التبريد :-

$$Q_{cc} = \dot{m}_M (h_M - h_W) = \dot{m}_O (h_O - h_W) + \dot{m}_R (h_R - h_W)$$

$$Q_{cc} = \dot{m}_M (h_M - h_W) = 1.26 \times (45.784 - 28.6) = 21.652 kW$$

مكونات حمل التبريد :-

حمل التهوية (حمل الهواء الخارجي) - Q_v Fresh air

$$Q_v = \dot{m}_O (h_O - h_R)$$
$$= 0.2 \times 1.26 \times (55.36 - 43.39) = 3.0 kW$$

الحمل الكامن Q_L Latent Load

$$Q_L = \dot{m}_R (h_R - h_L)$$
$$= 1.26 \times (43.39 - 40.8) = 3.26 \ kW$$

الحمل المحسوس Sensible Load Q_S

$$Q_S = \dot{m}_R (h_L - h_S)$$

$$= 1.26 \times (40.8 - 31.6) = 11.592\,kW$$

الأحمال الإضافية (المروحة ومسالك الهواء) $Q_{fan+Duct}$:-

$$Q_{fan+Duct} = \dot{m}_R (h_S - h_W)$$

$$= 1.26(31.6 - 286) = 3.78kW$$

والجدول التالي يوضح ملخصاً للأحمال السابقة :-

م	بيان الحمل	مقدار الحمل kW	النسبة %
.1	حمل الهواء الخارجي Fresh air Q_v	3.0	13.86
.2	الحمل الكامن Latent Load Q_L	3.26	15.07
.3	الحمل المحسوس Sensible Load Q_S	11.592	53.59
.4	حمل المروحة ومسالك الهواء) $Q_{fan+Duct}$:	3.78	17.46
.5	جمل التبريد	21.632	100

تمارين

1- غرفة يراد تكييفها شتاءً ولها حملها المحسوس 54 kW والحمل الكامن 6 kW . والأحوال الداخلية للغرفة $25°C(db),50\%RH$. والفرق المتوقع في درجات الحرارة بين نقطة التغذية والغرفة $10°C$. أوجد :-

ا - معامل الحرارة المحسوس للغرفة.

ب - معدل هواء التغذية.

ج - أحوال نقطة التغذية

2- في نظام تكييف للهواء، يتم خلط 540 L/s هواء خارجي عند $32°C(db),23°C(wb)$ مع 2850 L/s هواء راجع عند $24°C(db),50\%RH$. ثم يبرد المخلوط خلال ملف التبريد ويتركه عند RH % 90 . إذا كان معامل الحرارة المحسوسة للغرفة % 70. أوجد :-

i - درجة الندى لملف التبريد ii - درجة حرارة الهواء الخارج من ملف التبريد

iii - سعة ملف التبريد . iv - الحمل المحسوس ، الحمل الكامن ثم الحمل الكلي للغرفة .

3- وحدة مناولة هواء لتكييف غرفة تتكون من ملف تبريد ومرطب بخار. ومعامل الحرارة المحسوس للغرفة 0.70 ومعدل سريان هواء التغذية $5kg/s$.إذا علمت الآتي :-

- شروط التصميم الداخلية $24°C(db),50\%RH$
- شروط التصميم الخارجية $40°C(db),10\%RH$
- الرطوبة النوعية عند نقطة التغذية (0.008 kg / kg (dry air
- الرطوبة النسبية للهواء بعد خروجه من ملف التبريد $60\%RH$.
- نسبة الخلط 1/3

ارسم العمليات أعلاه على الخريطة السيكرومترية ثم أوجد :

أ) حمل الغرفة الكلى

ب) سعة ملف التبريد

ج) كمية ماء الترطيب

4- وحدة مناولة هواء لتكييف غرفة تتكون من ملف تسخين ومرطب بخار. ومعامل الحرارة المحسوس للغرفة يساوى 0.90 ومعدل سريان هواء التغذية $5kg/s$ إذا علمت الآتي:-

- شروط التصميم الداخلية $24°C(db),50\%RH$
- شروط التصميم الخارجية $4°C(db),0°C(wb)$

- درجة الحرارة الجافة لنقطة التغذية $34°C(db)$

- نسبة الخلط (الراجع / الهواء النقي) 1 : 3

بعد رسم العمليات المذكورة على الخريطة السيكرومترية، احسب:-

أ - سعة ملف التسخين ب - حمل الغرفة (المحسوس والكامن)

5- لنظام تكييف صيفي يدفع 950 L/s من الهواء الخارجي خلال ملف تبريد. إذا كانت حالة الهواء الخارجي $35°C(db),25°C(wb)$ وحالة الهواء الداخلية $27°C(db),45\%RH$. معامل الحرارة المحسوسة للغرفة 0.8 والرطوبة النسبية للهواء بعد ملف التبريد % 90 . أوجد:-

i - درجة الندى للجهاز ii - سعة ملف التبريد

iii - كمية ماء التكثيف بوحدة L/hr .

6- غرفة حملها المحسوس 5.5 kW و أحوال التصميم للغرفة هي $24°C(db),50\%RH$. والهواء الخارجي عند $35°C(db),27°C(wb)$. نسبة خلط الهواء الخارجي مع هواء الغرفة 1/3 . يبرد مخلوط الهواء خلال ملف تبريد بحيث يترك الهواء ملف التبريد مشبعاً عند $10°C$ وعلى خط معامل الحرارة المحسوس للغرفة. إذا تم خلط جزء من هواء الغرفة مع الهواء الخارج من ملف التبريد بحيث تصبح درجة حرارة تغذية الهواء للغرفة عند $15°C(db)$. احسب:-

i - معدل سريان الهواء الكلى

ii - النسبة المئوية للهواء الراجع من الغرفة (بعد ملف التبريد) مع الهواء الخارج من ملف التبريد

iii - حمل الغرفة الكامن والكلي iv - سعة ملف التبريد .

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 100٪.

الوقت المتوقع للتدريب:

8 ساعات تدريبية.

حساب أحمال التبريد والتدفئة
Cooling & 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 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 (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 للمبن) 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.

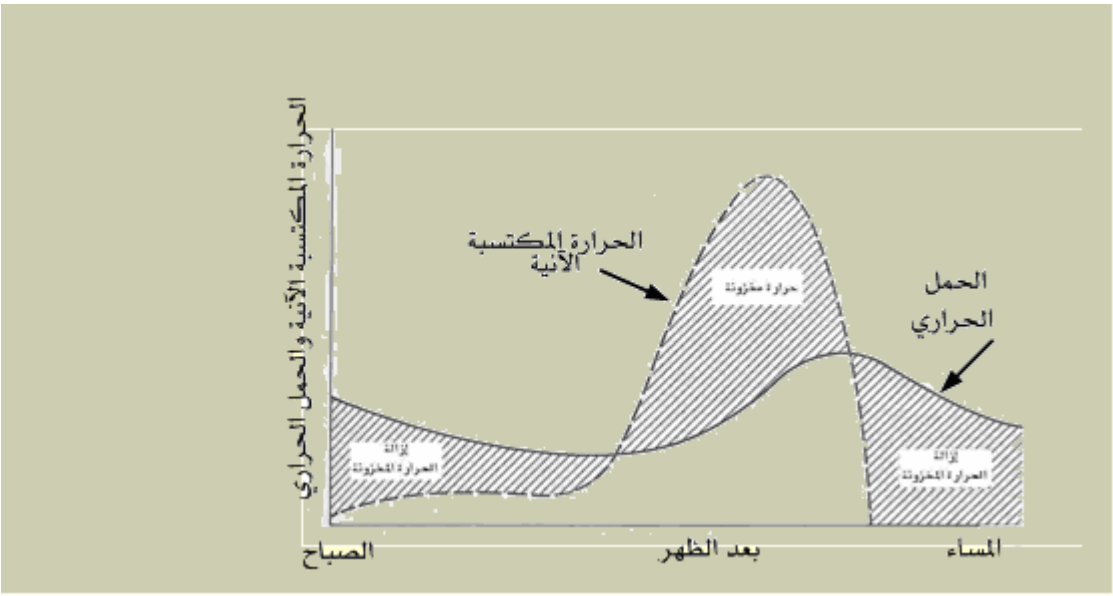
حمل التبريد للحيز: Space Cooling Load

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 المتنقلة 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(Φ, time lag) ومعامل النقصان (decrement factor, f) مما يصعب عملية حساب الأحمال. تعمل الكتلة الحرارية أو ما يعرف بتأثير الخزن الحراري بواسطة مواد البناء على خفض الكسب الحراري الصافي وبالتالي خفض حمل التبريد للغرفة. الشكل (6- 1) 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) وحمل التبريد للغرفة خلال ساعات اليوم. وكما نلاحظ أن هذه الكمية الكبيرة من الحرارة المكتسبة تدخل الغرفة في أوقات لاحقة نتيجة للتخلف الزمني مما يعمل على خفض حمل التبريد كما ذكرنا آنفاً وكما يتضح من الشكل (6- 1).



شكل (6 – 1): يوضح الفرق بين الكسب الحراري الآني وحمل 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 .

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 أن معامل الحرارة بالحمل للأسطح الداخلية (h_i) والأسطح الخارجية (h_o) يعتمدان على سرعة الهواء كما يظهر في الجدول(6- 1) 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 :

سمك الحائط $x = \{m\}$

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

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 (6 – 1): معامل انتقال الحرارة بالحمل

$k = \{W / mK\}$	المادة	
0.72	(common brick)	طوب عادي
1.30	(Face brick)	طوب واجه
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)	قلين
0.036	(Glass wool)	صوف زجاجي
0.040	(Polystyrene)	بولستيرين
0.023	(Polyurethane)	بولي إريان

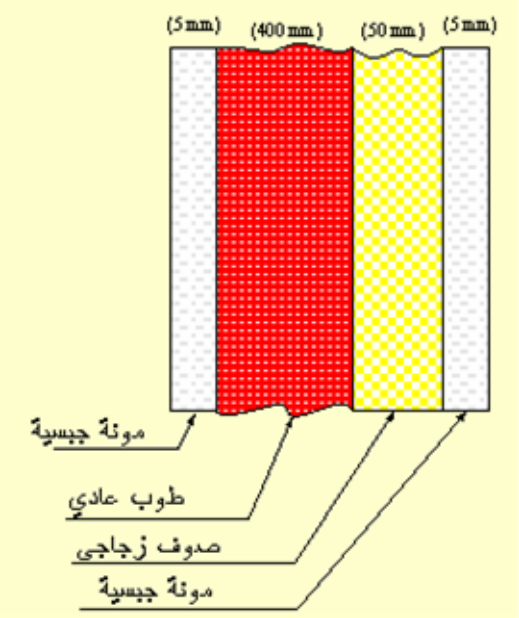
جدول (6 – 2): معامل التوصيل الحراري لبعض المواد

الجدول (6 - 2) 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.

مثال1:

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



شكل (6 – 2):

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

$x_1 = x_4 = 5 \ mm = 0.005 \ m$ و $x_2 = 400 \ mm = 0.400 \ m$

$x_3 = 50mm = 0.050m$

ومن الجداول (للمونة الجبسية) $k_1 = k_4 = 0.80 \ W/mK$

ومن الجداول (للطوب العادي) $k_2 = 0.72 \ W/mK$

ومن الجداول (للصوف الزجاجي) $k_3 = 0.036 \ W/mK$

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

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

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

درجة حرارة الشمس والهواء: Sol-air Temperture (T_e)

درجة حرارة الشمس والهواء هي درجة حرارة وهمية تعبر عن قيمة درجة حرارة الهواء الخارجي والتي في غياب أشكال التبادل الاشعاعي تعطي نفس معدل انتقال الحرارة خلال السطح الخارجي للجدار كالذي يحدث نتيجة للفرق في درجة الحرارة وتبادل الإشعاع وسنرمز لها بالرمز (T_e)

$$T_e = T_o + (\alpha I)/h_0$$

أو $$\Delta T_s = T_e - T_o$$

حيث إن:

شدة الإشعاع الشمسي $I = \left(W / m^2\right)$

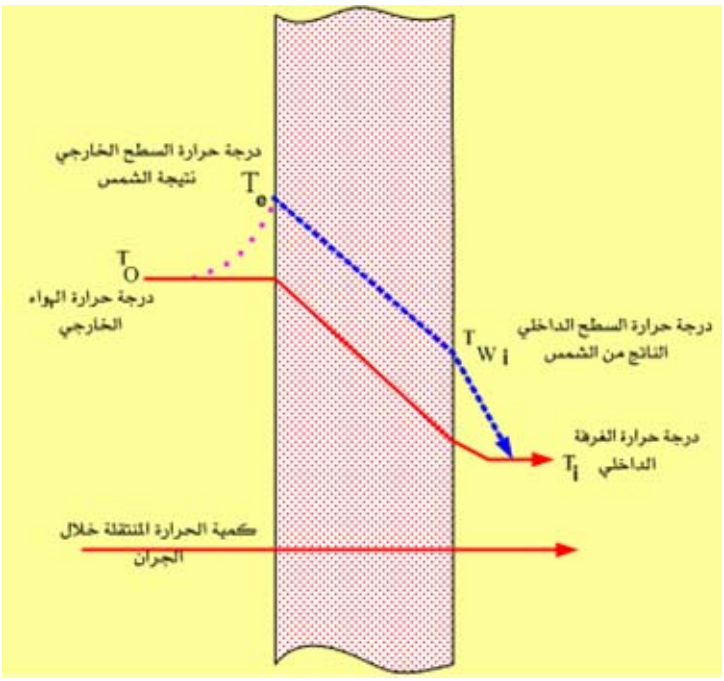
معامل انتقال الحرارة للأسطح الخارجية $h_o = \left[W / m^2 K\right]$

معامل الامتصاص للأسطح الخارجية $\alpha =$

فرق درجات الحرارة الإضافي نتيجة أشعة الشمس $\Delta T_s = \{K\}$

$$\Delta T_s = T_e - T_o = (\alpha I) / h_0$$

الرسم أدناه يوضح تأثير الإشعاع الشمسي على درجات حرارة الأسطح الخارجية حيث نجد أن درجة حرارة السطح الخارجي عند T_e بينما درجة الحرارة المحيطة الخارجية T_O $(T_e \succ T_O)$.



شكل (6– 3): الكسب الحراري الشمسي

عليه يمكن حساب الحرارة المكتسبة من الشمس بالتوصيل خلال الجدران والأسقف بالمعادلة التالية:

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

حيث :

مساحة سطح الحائط أو السقف $A = \{m^2\}$

معامل انتقال الحرارة الكلي $U = \{W/m^2K\}$

معامل امتصاص الأشعة تختلف قيمته حسب اختلاف المواد والألوان كما في الجدول التالي :

مادة السطح	α
طوب أحمر رملي جيري	0.70 – 0.55
طوب أبيض رملي جيري	0.5 –0.4
حجارة جيرية	0.5 –0.3
إردواز رمادي	o.9 –0.8
بلاط خرساني	0.65
سقف إسفلتي	0.9

جدول (6 – 3): 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	الجنوب S	الغرب W	الاتجاه الأفقي HOR.
يناير	82.6	610.10	727.3	610.10	645.6
فبراير	92.10	691.3	622.9	680.9	760.1
مارس	104.0	7222.7	424.3	719.7	846.1
إبريل	114.7	708.4	258.5	708.1	881.8
مايو	131.1	685.10	158.3	679.7	884.3
يونيو	166.1	664.2	139.0	655.4	875.1
يوليو	131.1	662.0	100.1	660.4	868.2
أغسطس	119.8	674.3	249.4	682.9	860.9
سبتمبر	107.8	823.7	448.9	698.6	824.4
أكتوبر	95.8	646.3	609.1	663.6	749.3
نوفمبر	83.9	592.7	720.7	587.9	646.3
ديسمبر	77.6	570.9	756.6	756.6	596.5

جدول (6 – 4): شدة الإشعاع الشمسي لمدينة الرياض خلال أشهر السنة لبعض الاتجاهات (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 (6 – 5): 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 (6 – 6): 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 6- 6). 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 للاشعاع 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 $65°C$ في فصل الصيف (يمكن حسابها من المعادلة السابقة).

مثال2:

غرفة أبعادها $6\ m \times 4\ m \times 3\ m$ 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 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 حساب الأحمال على هيئة جدول كالتالي:

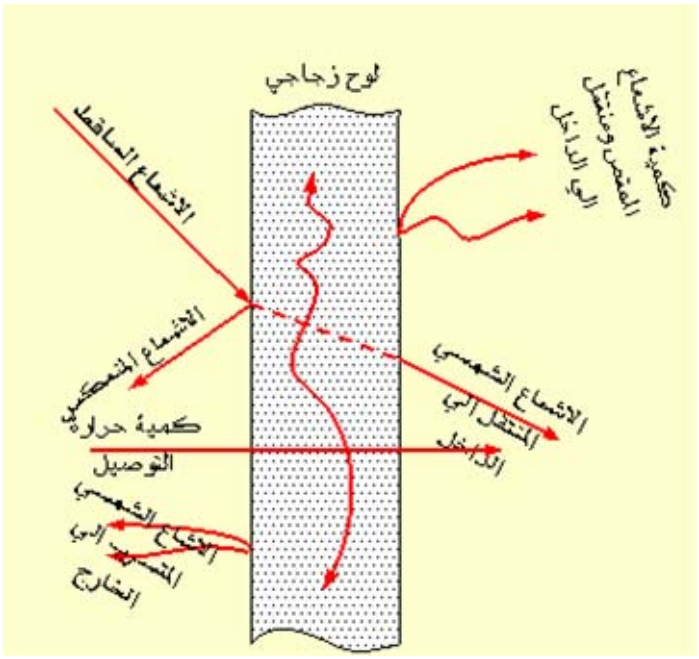
البيان	U $W/m^2\ K$	A m^2	ΔT $°C$	Q_w W
الجدران الرأسية	2.4	51.6	16	1981.4
الباب	2.0	3.0	16	96.0
الشبابيك	5.6	5.4	16	483.8
السقف	2.4	24	24	1382.4
الأرضية	0.6	24	03	43.2
انتقال الحرارة بالتوصيل للجدران				3986.8

جدول (6 – 7): مثال2

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 الشبابيك الوقت من ناحية اليوم والسنة الذي يخمن عنده الحمل وبالرجوع لجداول الكسب الشمسي خلال الزجاج يلاحظ أن الكسب خلال الشبابيك 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 للشبابيك الجنوبية في شهري يناير ويوليو لذا فقد يكون ضروريا إجراء أكثر من تخمين واحد للوقوف على الحمل الأقصى.



شكل (6 – 4): 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:

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

$I = (W/m^2)$ شدة الإشعاع الشمسي

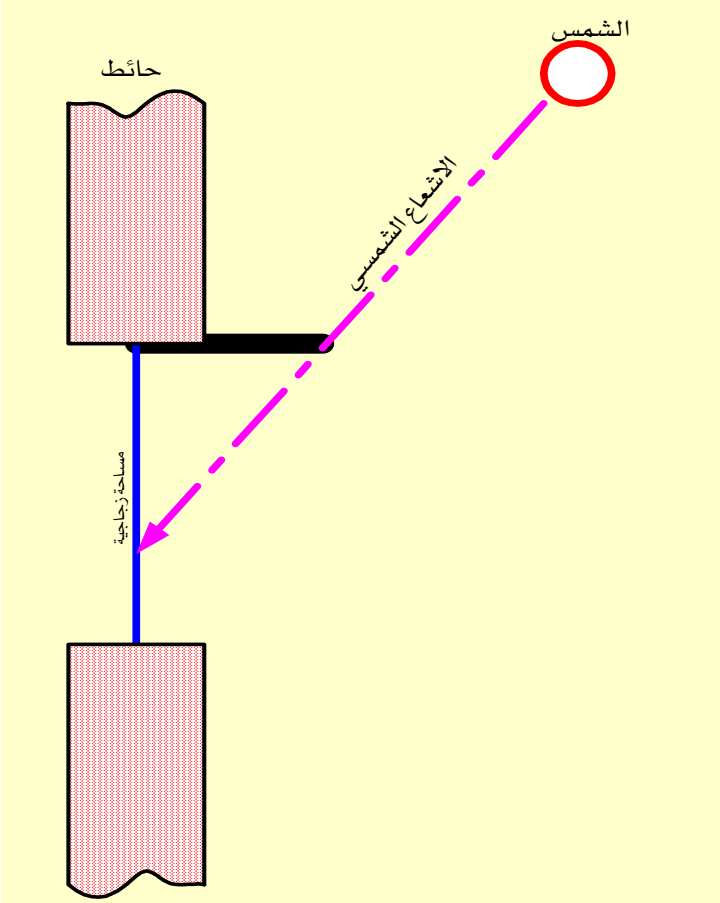
$SC = [None]$ معامل التظليل

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 (6– 8): 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 (6– 5): 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 الريح حيث يزيد معدل هواء التهوية مع زيادة سرعة الريح.

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:

التسرب $\{m^3/s\}$ = (حجم الغرفة ×عدد مرات تغيير الهواء في الساعة(ACH)) ÷ 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 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 (Δp) أي

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

حيث:

المساحة الفعالة للشقوق A=

معامل يعتمد على نوعية فتحة الشق ونوعية السريان C=

فرق الضغط بين الداخل والخارج $\Delta p =$

الأس n يعتمد على نوعية سريان الهواء في الشقوق $0.4 \prec n \succ 1.0$

لمثل هذه الحالات تم عمل جداول لتبين معدل سريان هواء التسرب.فالجدول (6- 9) يبين التسرب خلال الشبابيك لكل متر من أطوال الشقوق والجدول (6- 10) يبين التسرب خلال الأبواب لأنماط الاستعمال الشائعةوذلك عند سرعة رياح مقدارها 3.35 m/s في الصيف.

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 (6– 9): التسرب خلال الشبابيك

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 (6 – 10): التسرب خلال الأبواب

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

ينقسم هواء التهوية أو التسرب إلى قسمين:

1. كسب حراري محسوس Q_{vs}

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

حيث :

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

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

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

2- كسب حراري كامن (Q_{v_l})

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

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

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

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

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

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:

حجم الحيز أو الغرفة $V = [m^3]$

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 تغير الهواء الكلي × حجم المكان

وتختلف عدد مرات تغير الهواء للمكان تبعا لاختلاف نوع واستعمال المبنى كما يبين الجدول (6 ـ 11) التالي بعضا من معدلات تغير الهواء في الساعة (ACH):

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 (6 – 11): معدلات تغير الهواء (ACH)

ب 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 (12.6)التالي:

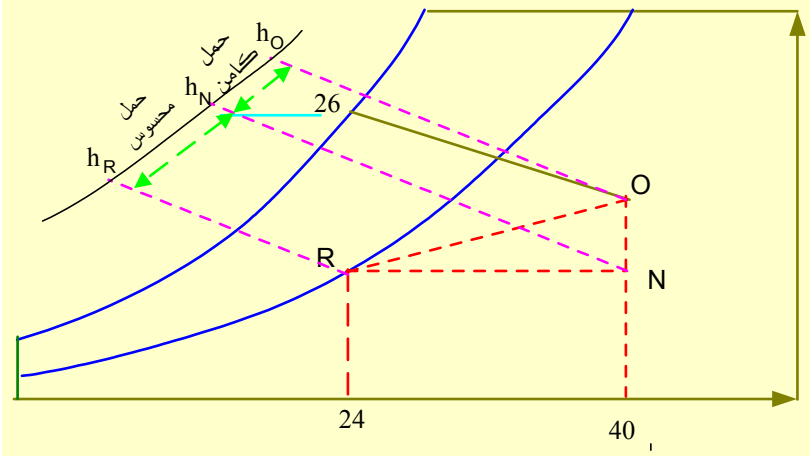
الاستخدام	التدخين	معدلات التهوية لكل شخص (L/s)	
		الأدنى	المفضل
شقة	أحيانا	7	9.5
مصرف	أحيانا	5	7.5
صالون	أحيانا	5	7.0
محلات تجارية	ممنوع	2.5	3.5
مصانع	ممنوع	3.5	5.0
مستشفيات	ممنوع	12	14
فنادق	شديد	12.0	14.0
غرف اجتماعات	شديد	14.0	24.0
مكاتب عامة	أحيانا	7.5	12.5
مطاعم	أحيانا	7.5	10.0
كفتيريا	أحيانا	3.5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

جدول (6– 12): معدل التهوية

مثال3 :

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

من الخريطة السيكرومترية:



شكل (6– 6): 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 $\dot{V} = \dfrac{V \times ACH}{3600}$

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

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

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

الكسب الحراري المحسوس نتيجة للتهوية $Q_{v_s} = \dot{m}(h_N - h_R)$

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

الكسب الحراري الكامن نتيجة للتهوية $Q_{vl} = \dot{m}(h_0 - h_N)$

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

الكسب الحراري الكلي نتيجة للتهوية $Q_v = Q_{v_s} + Q_{v_l}$

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

أو

الكسب الحراري الكلي نتيجة للتهوية $Q_v = \dot{m}(h_o - h_R)$

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

د. الكسب الحراري نتيجة للاضاءة (Q_L)

يحسب الكسب الحراري نتيجة للإضاءة 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 $DF =$ (Diversity Factor)

يلاحظ أن 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).

يستخدم الجدول (6- 13) 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 (6 – 13): شدة الإضاءة

الجدول (6- 14) يوضح معمل التباين للإضاءة الأشخاص لعدة استخدامات.

الاستخدام	معامل التباين	
	الأشخاص	الإضاءة
مكاتب	0.90 – 0.70	0.85 – 0.70
شقق ـ 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 (6 – 14): معامل التباين

مثال 4:

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:

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

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

$$= 5000 + 1000 = 6000\ W = 6\ kW$$

مثال5:

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

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

و كذلك الكسب الحراري للإضاءة لهذه الحجرة.

الحل:

من الجدول (6- 13) ، نجد أن شدة الإضاءة للحجرة الدراسية تكون على الأقل $40\ W/m^2$ عليه يكون قدرة الإضاءة اللازمة للحجرة الدراسية (I)

$$I = 50 \times 40 = 2000\ W$$

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

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

ويكون عندئذ الكسب الحراري نتيجة للاضاءة 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 الكسب الحراري

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

$$= 1.25 \times 50 \times 40 = 2500\ W$$

هـ. الكسب الحراري نتيجة للاشخاص: 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 (37^0C) 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 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

معدل الأيض metabolic rate الكلي.الجدول (6- 15) 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 (6 – 15): 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:

- عدد الأشخاص داخل المكان المكيف = n

- معامل التباين (Diversity Factor, DF) والذي يأخذ في الاعتبار عدم تواجد كل الأشخاص في نفس خطة حمل الذروة ويعين من الجداول(6- 14)

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

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

مثال 6:

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

الحل:

من الجدول (6- 15) نجد أن الحرارة الناتجة لكل شخص هي:

$q_s = 81\ W$ و $q_l = 139\ W$ و $q = 220\ W$

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

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

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

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

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

و. الكسب الحراري نتيجة للمعدات: Heat gain due 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 المحركات الكهربائية يعين الكسب الحراري لها (Q_E) من المعادلة التالية :

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

حيث إن:

E = القدرة اللازمة للمعدة

η = كفاءة المحرك

مثال7:

احسب الكسب الحراري الناتج عن استعمال عدد 2 محرك كهربائي قدرة كل منهما 0.5 kW وكفاءة كل منهما 70%.

الحل :

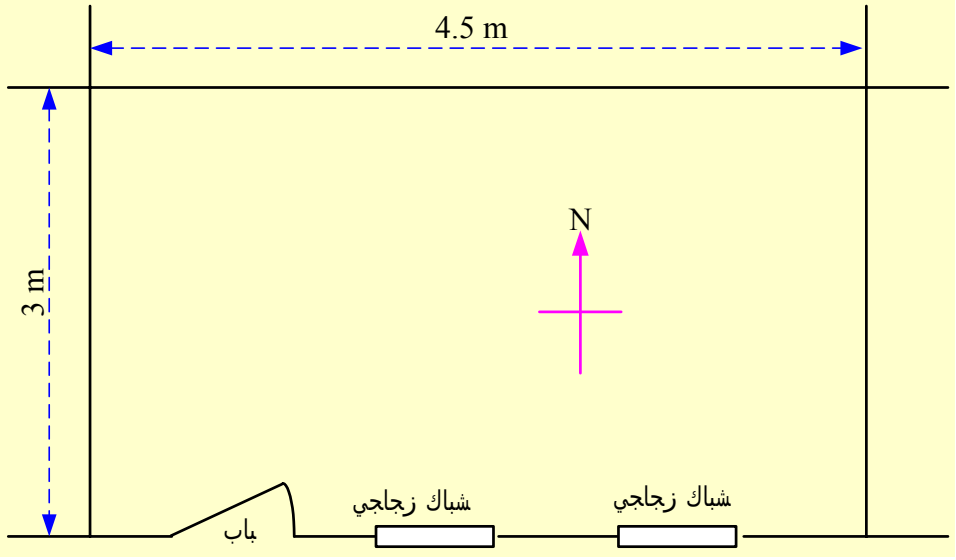
$$Q_E = \sum (1-\eta)E$$
$$= 2 \times (1-0.7) \times 0.5 = 0.30\ kW$$

ز. مصادر حرارية أخرى (Q_m)

خلافاً 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 الى دراسة الحالة في الوحدة الخامسة)

مثال 8 :

الغرفة الموضحة أدناه أبعادها $4.5m\times3.0m\times3.0m$ 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 التو إلى . 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 (6– 7): مثال

الحل :

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 (6 – 16): مثال

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

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

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

ومن الجداول (6- 8) $SC = 0.83$

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

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

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

∴ 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 $Q_L = N \times P \times F$

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

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

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

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

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

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

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

الكسب الحراري للتهوية:

من الخريطة السيكرومترية :

للأحوال الخارجية $v_o = 0.916\ m^3/kg$ $h_0 = 81\ kJ/kg$

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

الكسب الحراري للتهوية: $Q_v = \dot{m}(h_o - h_i)$

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

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

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

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 كثيرا 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^oC
- يلاحظ إنه في حالة أحوال الشتاء المعتدلة، يمكن إهمال معدل انتقال الحرارة خلال الأرضية (adiabatic conditions)

عند الأخذ في الاعتبار الكسب الحراري نتيجة للاشخاص 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

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

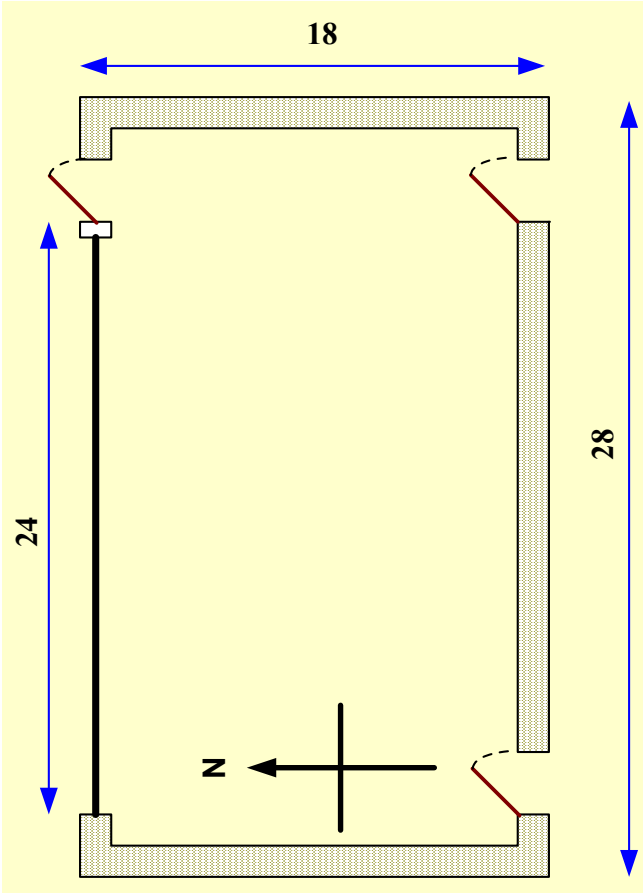
حيث:

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

وعليه يمكن تصنيف الأحمال الحرارية كالآتي:

- 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 9:



شكل (6 – 8): مثال 9

الرسم الموضح في الشكل (6- 8) أعلاه يبين مبنى مكيف عند $24°C(db),50\%RH$. للمبنى جدار زجاجي من الناحية الجنوبية بطول $24m$ وارتفاع $4.25m$ و $3m$ أبواب خشبية أبعاد كل باب $2m\times2.5m$. معامل انتقال الحرارة الكلي لمكونات المبنى كالتالي:-

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

- عدد الأشخاص بالمبني 100
- كمية حرارة الأيض لكل شخص $72W$ حرارة محسوسة و $45W$ حرارة كامنة
- معدل التهوية للمبنى لكل شخص $5\ L/s$
- الإضاءة $10\ W/m^2$

باعتبار الأحوال الخارجية التالية $10°C\ (db), 6°C\ (wb)$ ، 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 (6- 17):

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

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

جدول (6– 17): مثال 9

الفقد الحراري بالتوصيل للجدران (Q_w)

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

الكسب الحراري من الإضاءة

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

$$= 5040W = 5.040kW$$

الكسب الحراري المحسوس من الأشخاص

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

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

الكسب الحراري الكامن الأشخاص

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

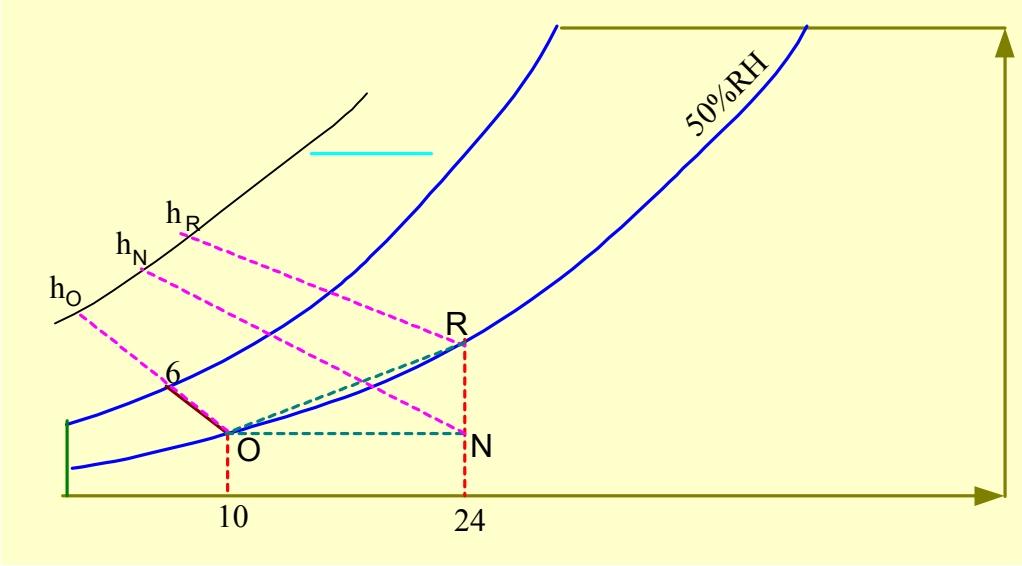
$$= 100 \times 45 \times 1 = 4500\ W = 4.500\ kW$$

الحرارة الكلية المكتسبة من الأشخاص

$$Q_p = Q_{pS} + Q_{pl}$$

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

الفقد الحراري للتهوية



شكل (6 – 9): مثال9

من الخريطة السيكرومترية:

للأحوال الخارجية

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

للأحوال الداخلية

$$h_N = 34.5\ kJ/kg \qquad h_O = 20.5\ kJ/kg$$

معدل السريان الحجمي لهواء التهوية

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

معدل سريان الكتلة لهواء التهوية

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

الفقد الحراري المحسوس لهواء التهوية

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

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

الفقد الحراري الكامن لهواء التهوية

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

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

$$Q_v = Q_{vs} + Q_{vl}$$

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

أو

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

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

إذن يمكن تحليل الحمل الحراري الكلي للغرفة كما يلي (Q_{RT})

مكونات الحمل		حمل محسوس(kW) Q_{R_S}	حمل كامن (kW) Q_{Rl}
الفقد الحراي بالتوصيل للجدران	(Q_w)	-10.714	-
الكسب الحراري من الإضاءة	(Q_L)	+5.040	-
الكسب الحراري من الأشخاص	(Q_p)	+7.200	+4.500
الفقد الحراري للتهوية	(Q_v)	-8.680	-8.680
الحمل الحراري الكلي للغرفة	(Q_{RT})	-7.154	-4.180

جدول (6– 18): مثال 9

الحمل الحراري الكلي للغرفة

$$Q_{RT} = Q_{R_S} + Q_{Rl}$$

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

معامل الحرارة المحسوس للغرفة

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

خلاصة

- 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 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 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

1- حائط أبعاده $4m \times 3m$ وله معامل حراري كلي $U = 0.57W/m^2K$ بها باب أبعاده $1m \times 2m$ 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 $\Delta T = 16K$.

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

3- 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 ـ لمبات فلورسنت ب ـ لمبات عادية

4- 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 ^oC كما موضح وأيضا درجة حرارة الغرفة المجاورة لها 24 ^oC . إذا علمت درجات الحرارة التالية: ـ

ـ درجة الحرارة الجافة الخارجية 40 ^oC

ـ درجة حرارة التربة 27 ^oC

ـ فرق درجات الحرارة نتيجة الشمس للناحية الجنوبية 7 ^oC

ـ فرق درجات الحرارة نتيجة الشمس للناحية الغربية 3 ^oC

ومعامل التوصيل الحراري الكلى (U) كما يلي: ـ

ـ الحوائط 2.4 W/ m^2 K

ـ الأرضية 0.6 W/ m^2 K

ـ الباب 2.0 W/ m^2 K

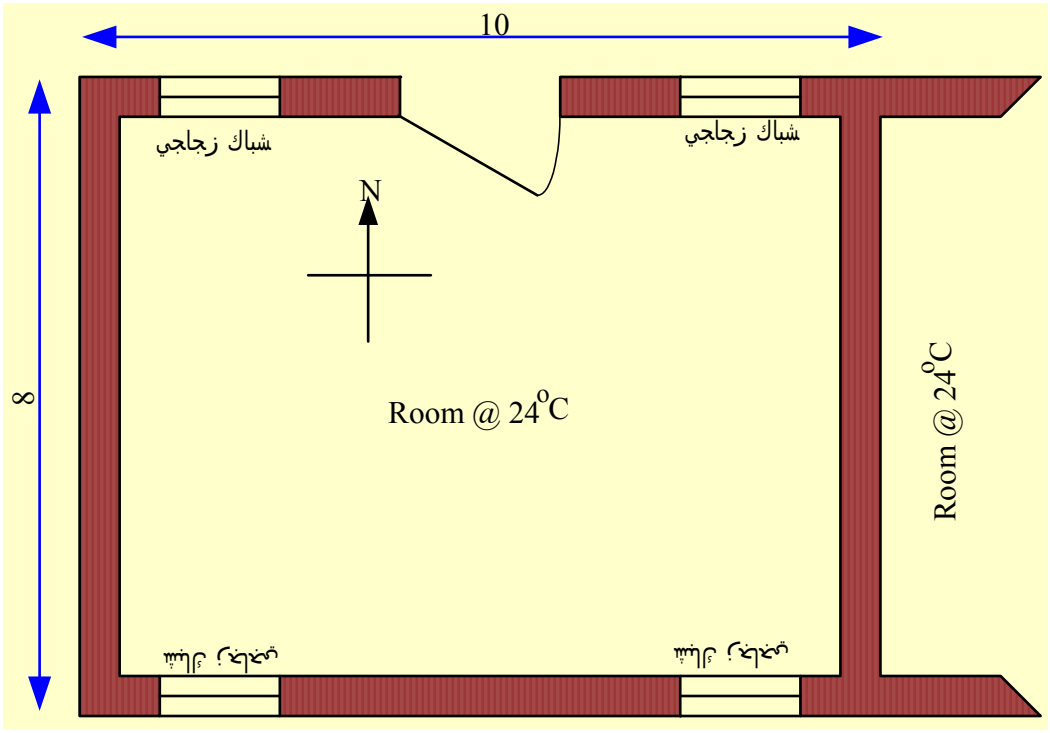
ـ الشبابيك 5.6 W/ m^2 K

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).

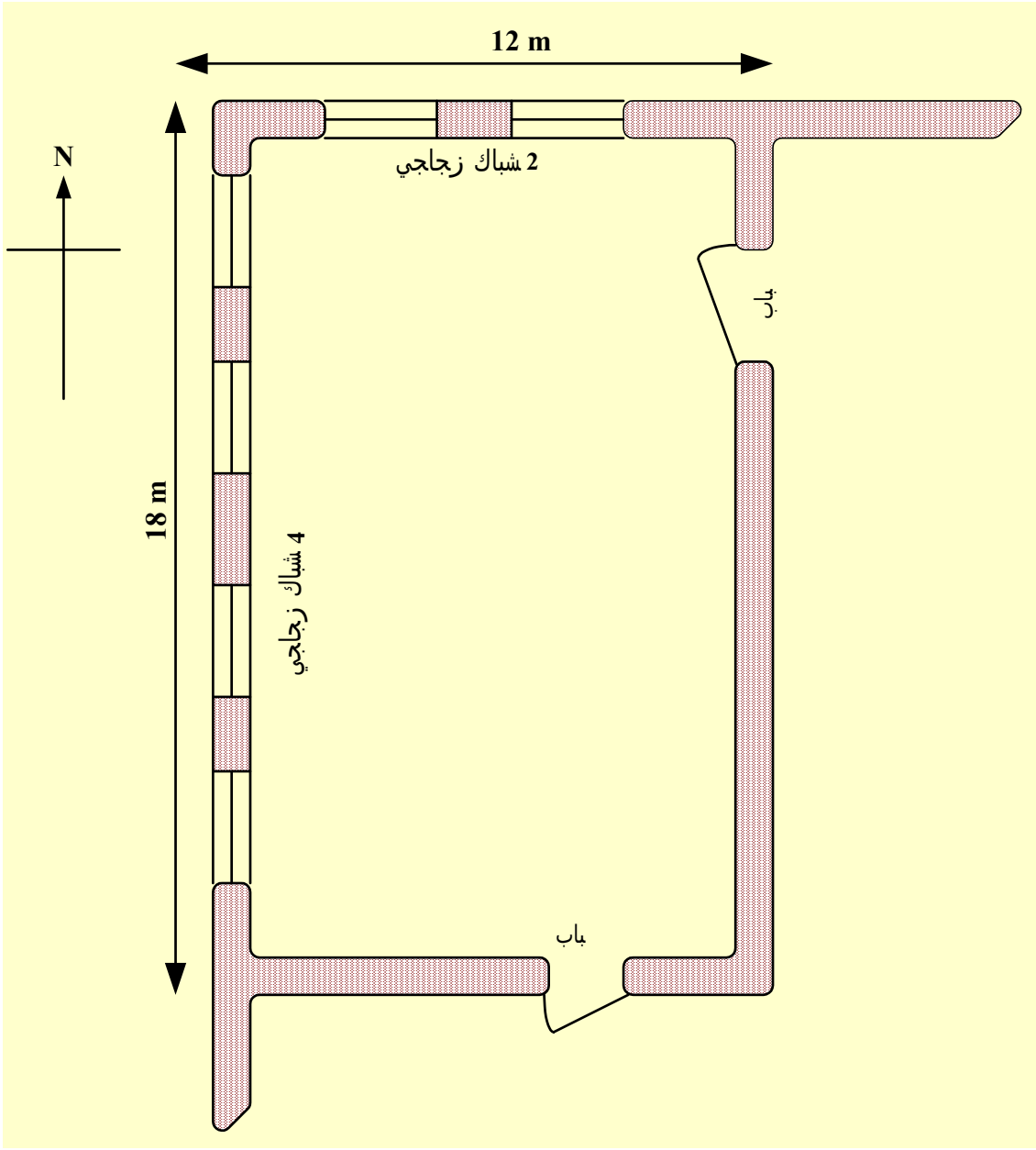


5- الرسم أدناه يوضح مكتبا يراد تكييفه. تم معرفة المعلومات الأولية التالية:

- 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.



اختبارذاتي

الســـؤال الأول

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

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

ب) عند تسخين الهواء الرطب تزداد رطويته النسبية ( )

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

د) هواء عند $35°C(db),30\%RH$ تم تبريده إلى $12°C(db),10°C(wb)$ 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 $12°C,10°C$ ، عليه تكون درجة الحرارة الرطبة هي $12°C$ والجافة 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 الحقن بالبخار تكون عند ثبوت درجة الحرارة الجافة تقريبياً ( )

الســـؤال 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:

- الظروف الداخلية $25°C(db),\ 50\%RH$
- الظروف 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

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

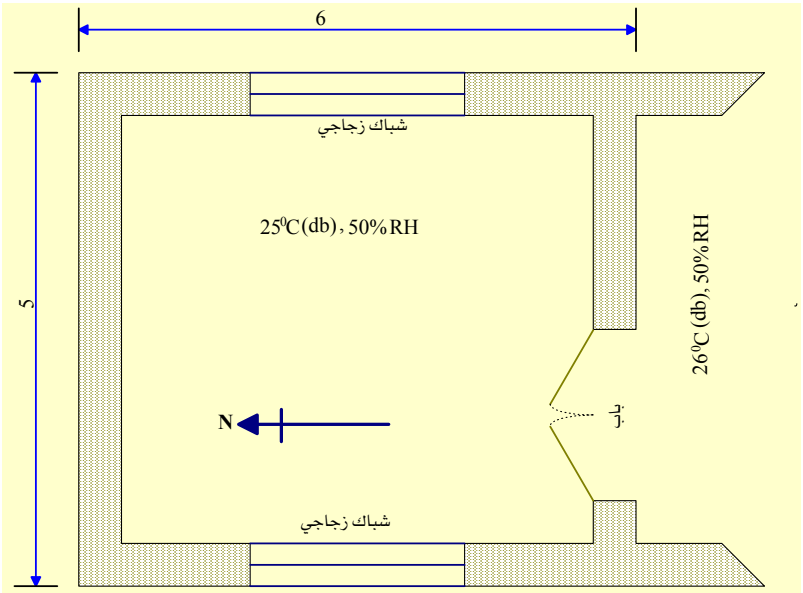
احسب الآتي:

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 .



حل الاختبار الذاتي

السـؤال الأول

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

أ) ـ الهواء الجوي عبارة عن % 80 أوكسجين 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 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 $12°C,10°C$ ، عليه تكون درجة الحرارة الرطبة هي $12°C$ و 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 (×)

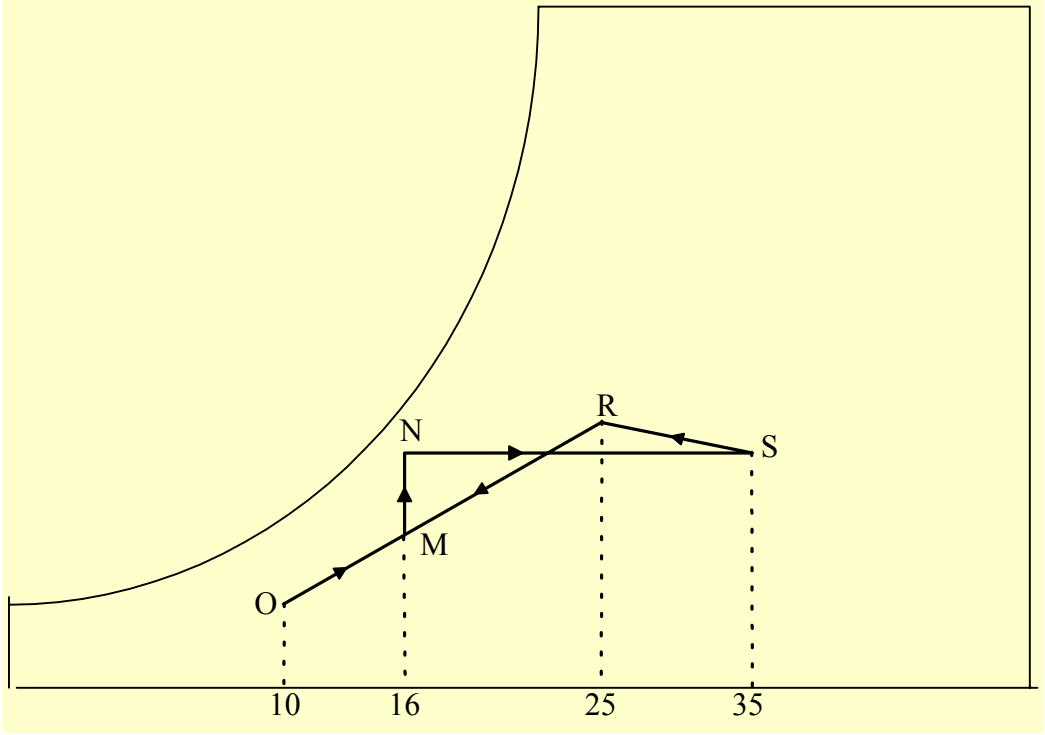
ك) عملية الحقن بالبخار تكون عند ثبوت درجة الحرارة الجافة تقريباً (✓)

السـؤال الثاني

لإيجاد درجة الحرارة الجافة لنقطة الخلط من المعادلة التالية:

$$T_M = \frac{\dot{m}_O T_O + \dot{m}_R T_R}{\dot{m}_O + \dot{m}_R}$$
$$= \frac{0.6\times 10 + 0.4\times 25}{0.4 + 0.6}$$
$$= 16\ °C$$

عليه يمكن تحديد النقطة M بين النقطتين O و R وبقيمة درجة الحرارة الجافة للنقطة M تساوي $16°C$ بعدها يتم رسم SHF وبقيمة 0.8 من النقطة R إلى النقطة S(عند درجة الحرارة الجافة $35°C$ كما موضح في السؤال)



الخط NS يمثل التسخين المحسوس والخط MN عملية ترطيب بالبخار تقريباً

عليه يكون الشكل كالتالي:

من الشكل السابق نجد أن :

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

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

معدل سريان هواء التغذية $(\dot{m})$

$$\dot{m} = \frac{Q_s}{c_p \times \Delta T}$$
$$= \frac{40}{1 \times 10} = 4\,kg/s$$

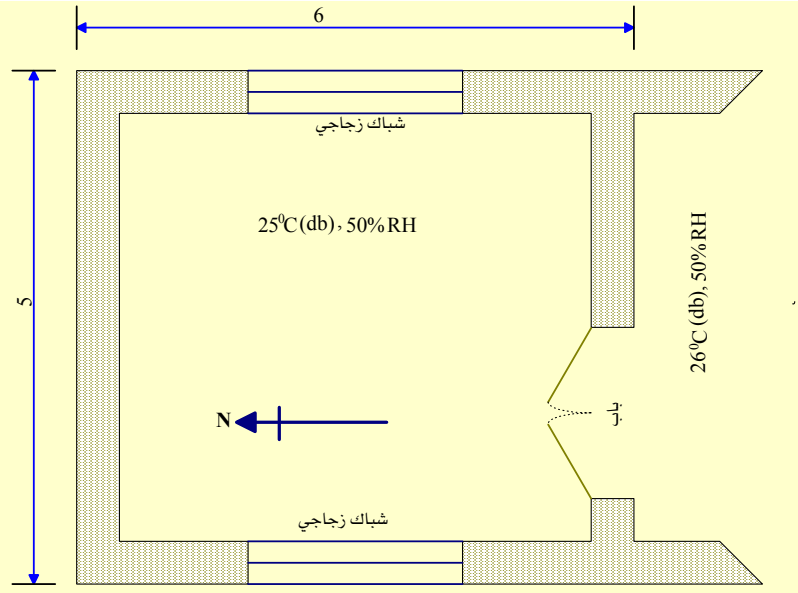
سعة ملف التسخين (Q_{hc})

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

كمية ماء الترطيب $(\dot{m}_w)$

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

الســـؤال الثالث



أ ـ الفقد الحراري للحوائط الرأسية

المعادلة :

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

$$\Delta T = T_o - T_i$$

البيان /الاتجاه	A m^2	U W/m^2K	ΔT $°C$	Q_w W	Q_w W
الحوائط					
الشمال	15	1.6	-15	-360	
الجنوب	12	1.6	01	19.2	
الشرق	12	1.6	-15	-288	
الغرب	12	1.6	-15	-288	
					-916.8
الشبابيك الزجاجية					
الشرق	6	3.2	-15	-288	
الغرب	6	3.2	-15	-288	
					-576
الأبواب					
الجنوب	3	1.8	-15		-81
					-1573.8

الكسب الحراري نتيجة الأشخاص (Q_p)

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

الكسب الحراري نتيجة الإضاءة (Q_L)

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

الفقد الحراري نتيجة التهوية (Q_v)

حجم الغرفة

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

من الخريطة السيكرومترية:

الحجم النوعي لهواء 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

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

المراجع References

م	المرجع
.1	د. رمضان أحمد محمود، 1987 (تكييف الهواء- مبادئ وتطبيقات) كلية الهندسة- جامعة الإسكندرية ، منشأة المعارف بالإسكندرية
.2	د. رمضان أحمد محمود، 1987 (تكييف الهواء- مسائل محلولة) كلية الهندسة- جامعة الإسكندرية، منشأة المعارف بالإسكندرية
.3	سي.تي.كوزلنج، ترجمة د. حسن خصاف و م. رامز فرج بابو اسحق، 1985 (تكييف الهواء والتبريد التطبيقي) الجامعة التكنولوجية، مركز التعريب والنشر، بغداد.
.4	V. Paul Lang,1987 "Principles of Air Conditioning", 4th Edition , Delmar.
.5	Edward G. Pita, 1998 "Air Conditioning Principles And Systems" 3rd. Edition, Prentice Hall, New Jersey, Columbus, Ohio.
.6	Edward G. Pita, 1981 "Air Conditioning Principles And Systems: An Energy Approach" 3rd. Edition, John Willey & Sons, Inc.
.7	W. P Jones, 1997 "Air Conditioning Applications And Design" 2nd Edition, John Willey & Sons, Inc. New York-Toronto.
.8	Whitman. Johnson & Tomczyk, 2000 "Refrigeration And Air Conditioning Technology" 4th Edition, Delmar.
.9	Faye & Parker, 1994 "Heating, Ventilating And Air Conditioning" Analysis & Design. 4th Edition, , John Willey & Sons, Inc.
.10	Shan. K. Wang, 1994 "Handbook Of Air Conditioning And Refrigeration" McGraw-Hill.
.11	Trane" Air Conditioning Manual"
.12	ASHRAE"Volume Of Fundamentals"

مصطلحات ورمـــوز

Mass flow rate	kg/s	$\dot{m}$	معدل السريان
mass	kg	m	الكتلة
Condensed water	kg/s	$\dot{m}_w$	كمية ماء التكثيف/ الترطيب
Air mass flow rate	kg/s	$\dot{m}_a$	معدل سريان الهواء
Total pressure	Pa	p	الضغط
Pressure difference	Pa	Δp	فرق الضغط
Air pressure	Pa	p_a	ضغط الهواء
Vapor pressure	Pa	p_v	ضغط بخار الماء
Universal gas constant	$J/Kmole-kg$	$\overline{R}$	الثابت العام للغازات
Specific Gas constant	J/kgK	R	الثابت الخاص للغاز
Specific heat	J/kgK	c_p	الحرارة النوعية
Cooling coil capacity	W	Q_{cc}	حمل ملف التبريد
Heating coil capacity	W	Q_{hc}	حمل ملف التسخين
Sensible heat load	W	Q_s	معدل حمل الحرارة المحسوسة
latent heat load	W	Q_l	معدل حمل الحرارة الكامنة
Sensible heat factor	-	SHF	معامل الحرارة المحسوسة
Air vlome	m^3	V_a	حجم الهواء
Vapor volume	m^3	V_v	حجم بخار الماء
Air temperature	K	T_a	درجة حرارة الهواء
Vapor temperature	K	T_v	درجة حرارة البخار
Dry bulb temperature	$°C$	T_{db}	درجة الحرارة الجافة
Wet bulb temperture	$°C$	T_{wb}	درجة الحرارة الرطبة
Relative humidity	%	RH	الرطوبة النسبية
Specific humidity	kg/kg	ω	الرطوبة النوعية

Total load	W	Q_t	الحمل الكلي
Ton of Refrigeration	TR	TR	طن التبريد
Wall gains (conductive heat gains)	W	Q_c	حمل الجدران(حمل التوصيل)
Radiation load	W	Q_r	حمل الاشعاع
Heat gains from people	W	Q_p	حمل الأشخاص
Heat gains from lghts	W	Q_l	حمل الاضاءة
Ventilation load	W	Q_v	حمل التهوية
Heat gains from equipment	W	Q_e	حمل الأجهزة
Miscellaneous loads	W	Q_m	أحمال مختلفة
Specific heat factor	-	SHF	معامل الحرارة المحسوس
Overall heat transfer coefficient	W/m^2K	U	معامل التوصيل الحراري الكلي
Room or space temperature	$°C$	T_R	درجة حرارة الغرفة أو الحيز المكيف
Internal temperature	$°C$	T_i	درجة الحرارة الداخلية
Outside temperature	$°C$	T_o	درجة الحرارة الخارجية
Supply air temperature	$°C$	T_S	درجة حرارة هواء التغذية
Temperature difference	$°C$	ΔT	فرق درجات الحرارة
Radiation intensity	W/m^2	I	شدة الإشعاع
Absorptivity factor	-	α	معامل الامتصاص
Internal heat transfer coefficient	W/m^2K	h_i	معامل انتقال الحراري الداخلي
External heat transfer coefficient	W/m^2K	h_o	معامل انتقال الحراري الخارجي
Enthalpy	kJ/kg	h	طاقة الإنثالبي

Shading coefficient	-	SC	معامل التظليل
Ventilation load - sensible	W	Q_{vs}	حمل التهوية المحسوس
Ventilation load - latent	W	Q_{vl}	حمل التهوية الكامنة
Specific volumeat outside conditions	m^3/kg	v_o	الحجم النوعي عند الأحوال الخارجية
Latent heat of vaporization	kJ/kg	h_{fg}	الحرارة الكامنة للتبخير
volume	m^3	V	الحجم
Discharge (volume flow rate)	$m^3 s^{-1}$	Q	معدل السريان الحجمي
number	-	n, N	عدد
Lamps factor	-	F	معامل اللمبات
Diversity factor	-	DF	معامل التباين
efficiency	-	η	الكفاءة
Saturation efficiency	-	η_s	كفاءة التشبع
Contact factor	-	β	معامل التلامس لملف التبريد
Air change per hour	hr^{-1}	ACH	معدل تغيير الهواء في الساعة
Cooling load	W	CL	حمل التبريد
Horsepower	hp	hp	قدرة الحصان

المحتويات

مقدمة .....
تمهيد .....
الوحدة الأولى :خصائص الهواء الرطب 1
خصائص الهواء الرطب 3
خلاصة 8
الوحدة الثانية :الخريطة السيكرومترية 9
الخريطة السيكرومترية 10
خلاصة 19
تمارين 20
الوحدة الثالثة : العمليات الأساسية لتكييف الهواء 22
العمليات السيكرومترية 23
خلاصة 34
تمارين 35
الوحدة الرابعة : ظروف التصميم 38
ظروف التصميم 39
نقطة التغذية للغرفة 41
معامل الحرارة المحسوسة 43
الراحة الحرارية للأنسان 43
متطلبات التهوية 48
خلاصة 49
تمارين 50
الوحدة الخامسة : دورات تكييف الهواء 52
دورات التكييف الأساسية 53
الدورة الصيفية 53
الدورة الشتوية 54
دراسة حالة 56
تمارين 59
الوحدة السادسة : حساب أحمال التبريد والتدفئة 62
حساب الأحمال الحرارية 63
المفاهيم الأساسية 63
حساب أحمال التبريد 63
حساب أحمال التدفئة 89
خلاصة 94

تمارين 95
اختبار ذاتي 98
المراجع 104
مصطلحات ورمـــوز 105