



الوحدة 2 السيكومترى علم دراسة الهواء الرطب

Unit 2: Psychrometrics

اهداف الوحدة

عند الانتهاء من دراسة هذه الوحدة فانك سوف تكون قادرا على:

- فهم المكونات الأساسية للخريطة السيكومترية
- تفسير العمليات السيكومترية الرئيسية
- تمثيل العمليات على الخريطة السيكومترية
- استخدام نسبة خط الغرفة

مواضيع الوحدة

- الخريطة السيكومترية
- خليط الهواء وبخار الماء
- العمليات السيكومترية المستخدمة في تكيف الهواء

2.1 مقدمة Introduction

يدرس علم السيكومترى الخواص الثيرموديناميكية للهواء المتعلق بالتصميم الحراري المريح والاحمال. وكذلك تحديد الخواص الثيرموديناميكية للهواء الجاف وبخار الماء المشبع وبالتالي الهواء المار خلال المبنى سواء كان في الخارج أو في الداخل أو في انابيب تمديد الهواء المكيف، والذي يعتبر خليط من الاثنين ويمكن اشتقاق خواصه من هذين المائعين (الهواء الجاف وبخار الماء).



تعرف هذه الوحدة كل الخواص السيكومترية الأساسية للهواء. وفي نهاية هذه الوحدة مناقشة حول كيفية الحصول على تغيرات في هذه الخواص باستخدام مقاييس تكييف الهواء.

2.2 بيانات وخريطة السيكومتري Psychrometric data and chart

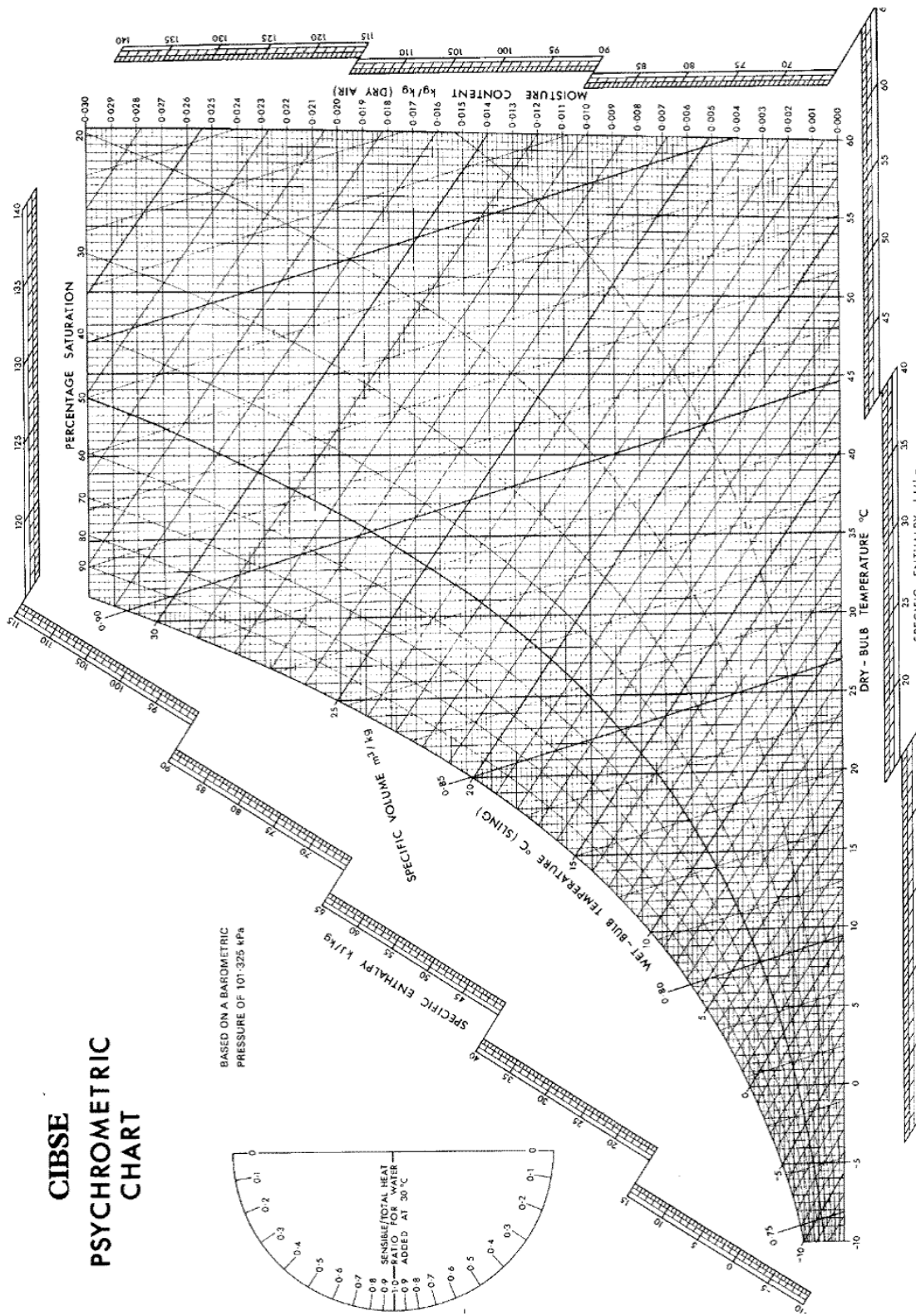
هناك سبعة متغيرات سيكرومترية متعلقة في الحساب الحراري للمبنى وتصميم الراحة الحرارية

Dry bulb temperature	درجة الحرارة الجافة	$^{\circ}\text{C}_{\text{db}}$
Moisture content	محتوى الرطوبة	Kg/kg dry air
Wet bulb temperature	درجة الحرارة الرطبة	$^{\circ}\text{C}_{\text{wb}}$
Specific volume	الحجم النوعي	m^3/kg
Percentage saturation	نسبة التشبع	%
Specific enthalpy	المحتوى الحراري النوعي	kJ/kg

فقط اثنين منهما يكونا مستقلين عن بعضهما البعض وهذا يعني ان هناك علاقة محددة بين هذه المتغيرات السبعة: أي اثنين من هذه المتغيرات يمكن ان نشق منها المتغيرات الخمسة الأخرى. حيث ان كلا من درجة الحرارة الجافة ومحتوى الرطوبة يمكن قياسهما بسهولة بالمقارنة مع المتغيرات الأخرى، فانهما يستخدمان على انهما متغيرين أساسيين للإحداثيات الكارتيزية، والتي تشكل القاعدة الأساسية لخريطة السيكومتري CIBSE والذي يستخدم بشكل واسع في هندسة HVAC.

خريطة السيكومتري (الشكل 1.2) هي عبارة عن مخطط عند ضغط معطى، وفي الاغلب يكون عند الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر، وخطوط الكنتور هي درجة الحرارة الرطبة والحرارة النوعية والحجم النوعي ونسبة التشبع والمحتوى الحراري النوعي رسمت على الاحداثيات الكارتيزية مع درجة الحرارة الجافة كمحور افقي ومحتوى الرطوبة كمحور رأسي.

لهذا فان أي نقطة على الخريطة تعرف الخواص الثيرموديناميكية لخليط الهواء الجاف وبخار الماء وبالتالي تمثل الحالة النوعية للهواء الرطب.



الشكل 1.2 الخريطة السيكرومترية CIBSE على مستوى سطح البحر



الانتقال من نقطة إلى أخرى على الخريطة يعرف عملية سيكرومترية محددة تلك التي وصل إليها النظام. تساعد تغيرات القيمة المرتبطة بالعملية على حساب تصميم النظام، مثل تقدير الاحمال وتقدير التكاليف. لهذا استخدمت خريطة السيكرومترية في الغالب كأداة في تصاميم HVAC. الجزء 3.2 يعرض تفاصيل بعض عمليات السيكرومترية التي تحدث بشكل كبير في هندسة HVAC.

من المفيد تعريف الكميات والعمليات التالية:

1.2.2 درجة الحرارة الجافة (DBT) Dry-bulb Temperature

هذا المتغير هو المقياس الذي يوضح مستوى الطاقة الداخلية للهواء المعطى. وهو متغير مشابه لارتفاع جسم له طاقة وضع. يمكن قياس درجة الحرارة الجافة (DBT) بسهولة بواسطة مقياس حرارة عادي، بوحد السليزس (او الفهرنهايت في أمريكا وبعض الدول الأخرى) او بوحد الكلفن. وهي المحور الأفقي على خريطة السيكرومترية.

2.2.2 محتوى الرطوبة Moisture Content

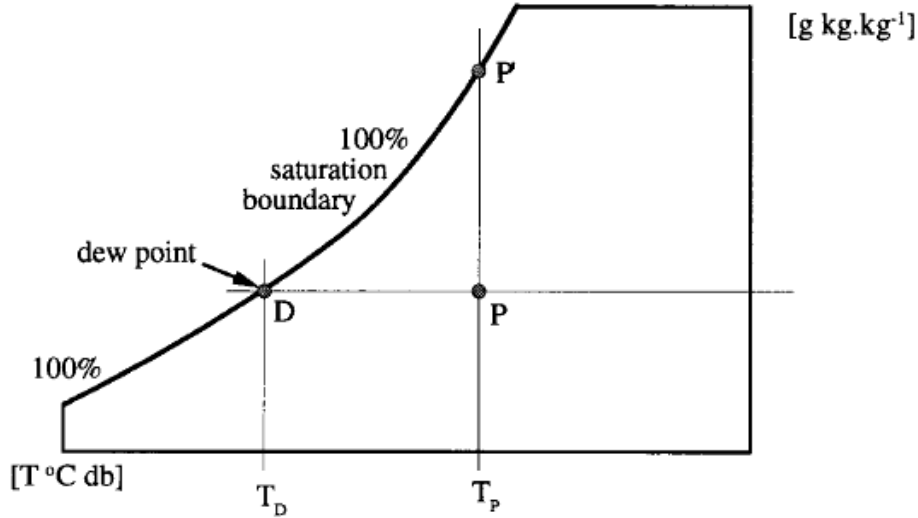
كذلك تعرف بنسبة الرطوبة او نسبة الخلط او الرطوبة النوعية وهي تتناسب مع كتلة بخار الماء لكل وحدة كتلة من الهواء الجاف عند شروط معطاة. وحدتها kg/kg dry air. وهي المحور الرأسي على خريطة السيكرومترية.

3.2.2 درجة الحرارة الرطبة (WBT) Wet-bulb Temperature

يعرف هذا المتغير على انه درجة حرارة عينة الهواء التي تمر فوق سطح كبير من الماء عند ضغط ثابت، وعملية تشبع اديباتيكية. بشكل عملي تقاس بواسطة مقياس حرارة عادي مجسه مكون من انتفاخ مدبب ملفوف بقطعة قماش مبللة مشبعة بالماء لها نفس درجة حرارة الهواء والخليط المتبخر. على الخريطة هي عبارة عن خطوط كنتور مكونة من مجموعة خطوط متوازية. وحدتها هي نفس وحدة DBT السليزس.

4.2.2 درجة حرارة الندى Dew point temperature

درجة حرارة نقطة الندى هي درجة الحرارة عندما يكون ضغط الهواء المشبع مثل ضغط البخار كما في العينة.



الشكل 2.2 نقاط الحالة على خريطة السيكرومتري

كما انها أيضا درجة الحرارة التي عندما يتكثف الخليط للهواء المتدفق. النقطة D أعلاه رسمت مقابل درجة الحرارة الجافة والتي تشكل خط التشبع 100% أو الحد الايسر على خريطة السيكرومتري.

5.2.2 الرطوبة النسبية (أو) Relative humidity (rh)

يمكن تعريف % rh على انها النسبة بين ضغط البخار عند P عند درجة حرارة T_p إلى ضغط البخار عند التشبع عند درجة حرارة T_p أي النقطة p أعلاه.

6.2.2 نسبة التشبع أو نسبة الرطوبة Percentage saturation or humidity ratio

هذه هي نسبة المحتوى الرطب عند P مع درجة حرارة T_p إلى محتوى الرطوبة المشبع عند p مع درجة حرارة T_p . لكل الأغراض العملية فهذه هي نفسها مثل rh.



7.2.2 الرطوبة أو الحجم النوعي Humid or specific volume

هذا هو الحجم المشغول بواسطة الهواء الرطب أو خليط الهواء وبخار الماء عند درجة حرارة وضغط محدد.

8.2.2 الحرارة النوعية الرطبة Humid specific heat

هذه هي الحرارة النوعية الفعالة لخليط الهواء وبخار الماء وهذه تحسب من الجمع.

$$CH_{UMID} = C_{AIR} M_{AIR} + C_{WATER} M_{WATER} \quad (2.1)$$

حيث ان،

M_{AIR} هي وزن كتلة الهواء الجاف

C_{AIR} الحرارة النوعية للهواء الجاف

M_{WATER} وزن كتلة بخار الماء

C_{WATER} الحرارة النوعية لبخار الماء

إذا $MASS_{WATER} = g$ و kg/kg و $MASS_{AIR} = 1kg$

ومن ثم

$$CH_{UMID} = (C_{AIR} + g C_{WATER}) \text{ kg/kg dry air} \quad (2.2)$$

في معظم الشروط هذين المائعين يمتلكان حرارة نوعية هي:

$$C_{AIR} = 1.01 \text{ kJ/kg}, C_{WATER} = 1.89 \text{ kJ/kg}$$

لهذا تكون الحرارة النوعية للهواء الرطب هي:

$$CH_{UMID} = (1.01 + 1.89g) \text{ kJ/kg dry air} \quad (2.3)$$



6.2.2 المحتوى الحراري النوعي Specific enthalpy (h)

كذلك تعرف بالمحتوى الحراري لكل وحدة كتلة، والمحتوى الحراري النوعي هو مجموع الحرارة الداخلية (الطاقة) للهواء الرطب، والتي تشمل كلا من الهواء وبخار الماء، عند درجة حرارة t أعلى من درجة حرارة المرجع t_{DATUM} والتي هي عمليا تؤخذ على أنها تساوي 0°C .

$$h = M_{AIR} C_{AIR} (t - t_{DATUM}) + M_{WATER} C_{WATER} (t - t_{DATUM}) + M_{WATER} L_{WATER}$$

حيث ان

M_{AIR} هي وزن كتلة الهواء الجاف

C_{AIR} هي الحرارة النوعية للهواء الجاف

M_{WATER} وزن كتلة بخار الماء

C_{WATER} هي الحرارة النوعية لبخار الماء

L_{WATER} الحرارة الكامنة لتبخر الماء

إذا $M_{AIR}=1\text{kg}$ و $M_{WATER}=g \text{ kg/kg dry air}$ و $T_{DATUM}=0^{\circ}\text{C}$ والحرارة الكامنة للتبخر تساوي 2500kJ/kg

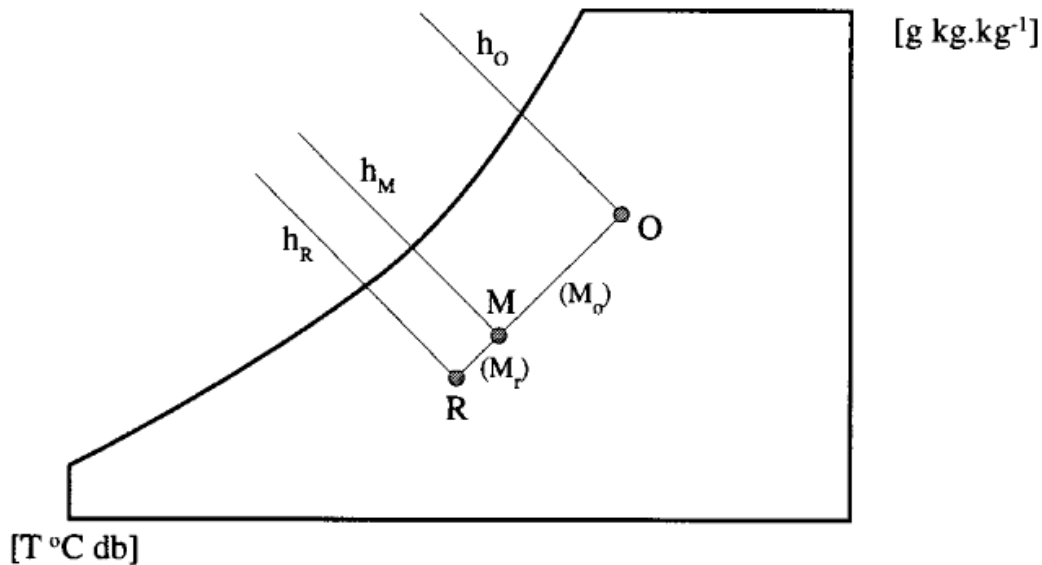
وبالتالي عند درجة حرارة t يكون المحتوى الحراري النوعي للهواء الرطب هي

$$h = t(1.01 + 1.89g) + 2500g. \quad (2.4)$$

3.2 عمليات السيكرومتري Psychrometric processes

1.3.2 الحالة المختلطة Mixture state

خط تيارين من الهواء رطب بحيث ان الحالتين O و R رسمت على الخريطة في الشكل 3.2 وهذا ينتج حالة جديدة للخليط.



الشكل 3.2 الحالة المختلطة

نقطة الحالة المختلطة تقع على خط مستقيم OR بحيث ان

$$\frac{OM}{MR} = \frac{m_r}{m_o} \quad (2.5)$$

حيث ان m_o و m_r هما معدل تدفق الكتلة لمكوني الهواء الرطب عند الحالتين R و O على التوالي. يمكن التعبير على OM و RM على النحو Δh أو Δg أو ΔT .

بشكل عملي اكثر فان حالة الخليط يمكن ان تحسب بسهولة باستخدام معدلات تدفق الكتلة لمكونين:

$$T_M = \frac{m_o}{m_o + m_R} T_o + \frac{m_R}{m_o + m_R} T_R; \quad (2.6)$$

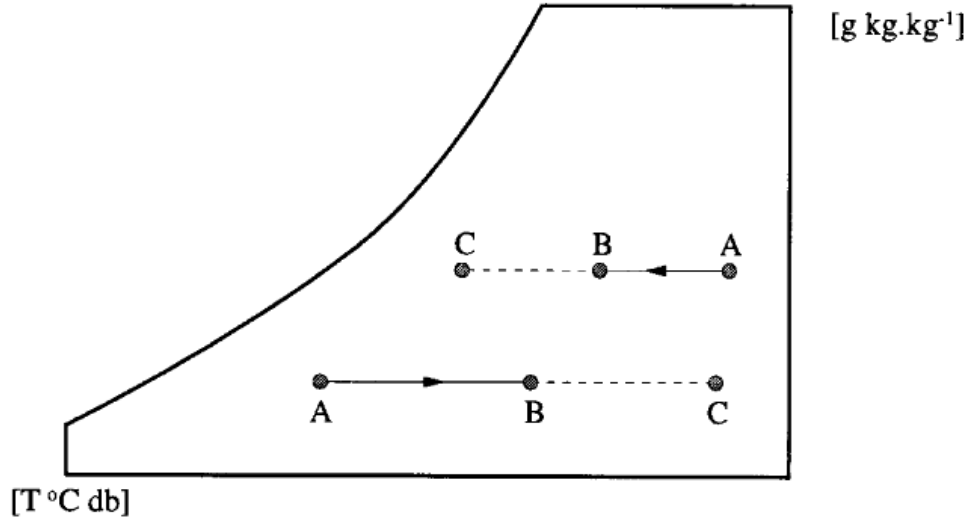
$$g_M = \frac{m_o}{m_o + m_R} g_o + \frac{m_R}{m_o + m_R} g_R \text{ and} \quad (2.7)$$

$$h_M = \frac{m_o}{m_o + m_R} h_o + \frac{m_R}{m_o + m_R} h_R \quad (2.8)$$

2.3.2 التسخين أو التبريد المعقول Sensible heating or cooling

تشتمل هذه العملية على تغيير في حالة حجم الهواء الرطب عند محتوى رطوبة ثابت، وتمثل الخط الافقي على خريطة السيكروميتر. يتم عادة التوصل إلى هذه العملية في الواقع بالسماح للهواء عند درجة حرارة T_A المرور بمبدل حراري والذي هو عبارة عن سطح حراري عند درجة حرارة T_c .

تمثل $T_c > T_A$ التسخين المعقول في حين تمثل $T_c < T_A$ التبريد المعقول (الشكل 4.2). درجة الحرارة بعد المرور على المبدل الحراري سوف تكون في الغالب بين T_c و T_A . وذلك لان هذا الجزء فقط من الهواء يتصل مع سطح المبدل الحراري، ولهذا فان متوسط درجة حرارة التدفق ككل T_B سوف تكون بالتأكيد غير قادرة على استخلاص حرارة من السطح T_c . أجزاء أخرى تتصل مع المبدل الحراري تلك التي لها T_c اقرب من T_B



الشكل 4.2 التبريد أو التسخين المعقول

لهذا يدخل متغير جديد لتحديد مثل هذا المستوى من الاتصال:

$$\text{معامل الاتصال} = \frac{\text{تغير درجة حرارة التدفق}}{\text{فرق درجة الحرارة بين السطح والتدفق القادم للتسخين فان}}$$



$$f_c = \frac{(T_B - T_A)}{(T_C - T_A)} \quad (2.9)$$

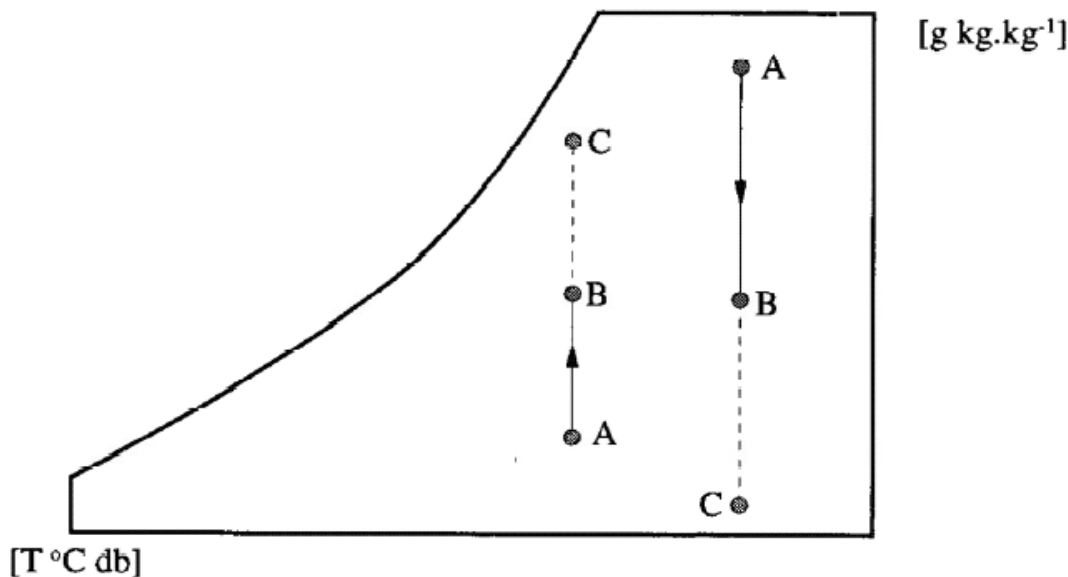
والحرارة المزودة بواسطة الوسط الرئيسي سوف تكون $q=mc(T_B-T_A)=m(h_B-h_A)$ بينما التبريد:

$$f_c = \frac{(T_A - T_B)}{(T_A - T_C)} \quad (2.10)$$

الحرارة المزودة من خلال الوسط الرئيسي سوف تكون $q=mc(T_A-T_B)=m(h_A-h_B)$ يحدث تسخين او تبريد معقول عند محتوى رطوبة ثابتة.

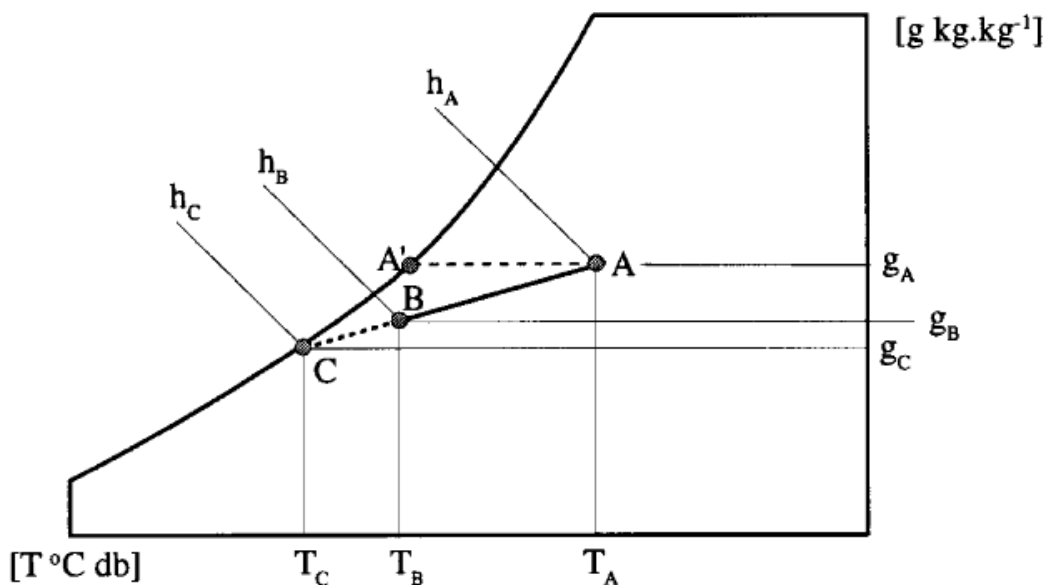
3.3.2 التسخين أو التبريد الكامن Latent heating or cooling

تشتمل هذه العملية على تغير حالة حجم الهواء الرطب عند درجة الحرارة الجافة ثابت. وتمثل بالخط الرأسي على خريطة السيكرومتري.



الشكل 5.2 التبريد أو التسخين الكامن

4.3.2 Dehumidification by cooling coil or air washer التخلص من الترطيب بواسطة ملف التبريد او الغسل الهوائي



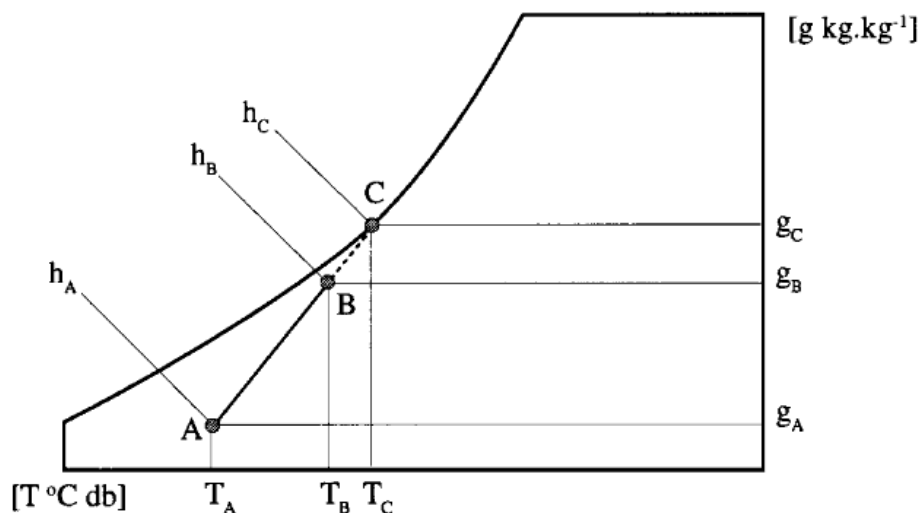
الشكل 6.2 التخلص من الترطيب بالتبريد

إذا كانت درجة حرارة سطح المبادل الحراري (ملفات التبريد) أو درجة حرارة الماء المرشوش T_c أقل من درجة حرارة نقطة الندى للهواء الرطب A فإنه يحدث تخلص من الرطوبة ويحدث التبريد.

تقاس كفاءة هذه العملية من خلال أدوات قياس معامل الاتصال AB/AC حيث أن AB و AC يمكن قياسهما في Δh أو ΔT أو Δg . تصميم الملف أو المبادل الحراري وترتيب مرور الهواء على الملفات يحدد بشكل كبير معامل الاتصال. في العادة يكون من المفضل الحصول على معامل اتصال كبير في هندسة HVAC.

حمل التبريد $q = mc(T_B - T_A) = m(h_B - h_A)$ ، وهذه الحرارة التي تمتص بواسطة الوسط الرئيسي في المبرد أو الماء المرشوش.

4.3.2 الترطيب بالتسخين Humidification with heating



الشكل 7.2 الترطيب بالتسخين

إذا استخدم ماء مرشوش عند درجة حرارة T_c اكبر من درجة حرارة الهواء الجاف T_A تحدث عملية ترطيب مع التسخين.

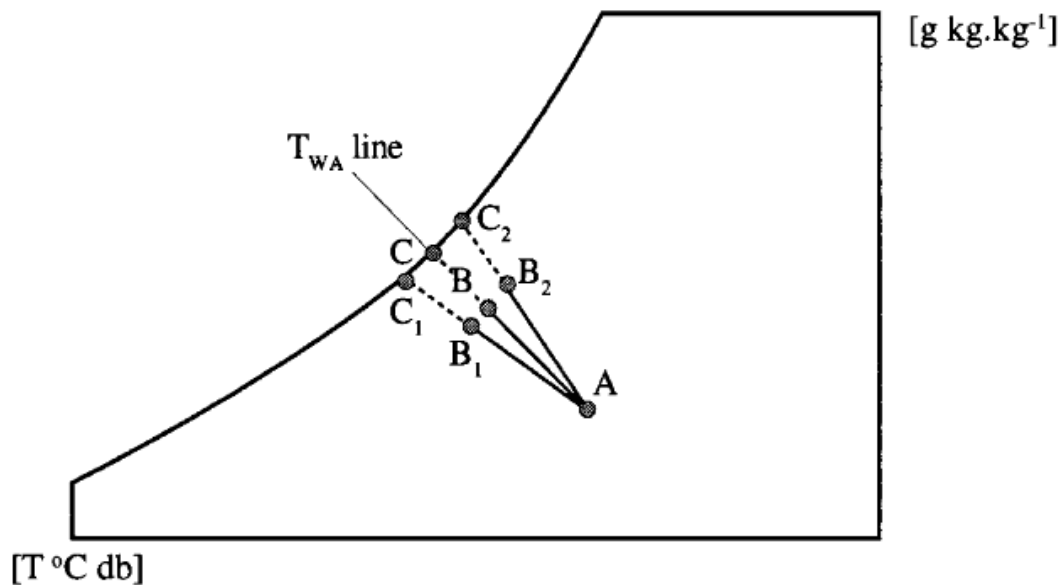
حمل التسخين

$$q = m(h_B - h_A) \quad (2.11)$$

تعطى كفاءة الترطيب من خلال AB/AC حيث ان AB و AC يمكن قياسها في Δh أو Δg أو ΔT . و T_c هي درجة حرارة نقطة الندى للمعدات.

6.3.2 الترطيب بالتبريد Humidification with cooling

عند مرور الهواء الرطب في حجرة الرش فان بعض القطرات تتعرض إلى تبخر مما يعمل على زيادة محتوى الرطوبة. وتطبيق أساسي اخر لهذه العملية هو الهواء المار فوق الماء المرشوش.



الشكل 8.2 الترطيب بالتبريد

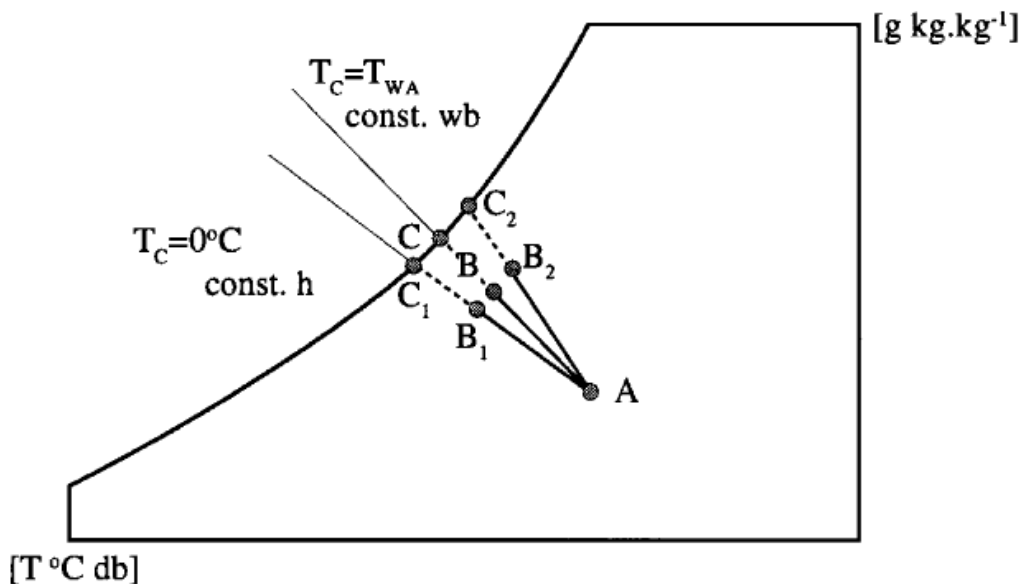
إذا كانت درجة حرارة الماء المرشوش T_C تساوي درجة حرارة الهواء الرطب T_{WA} فإن العملية تكون اديباتيكية وتحدث على امتداد خط درجة الحرارة الرطبة الثابتة.

كفاءة الترطيب هي

$$\text{Humidifying efficiency} = \frac{AB}{AC} \text{ or } \frac{AB_1}{AC_1} \text{ etc.}$$



7.3.2 الترطيب بالحقن المائي Humidification by water injection



الشكل 9.2 الترطيب بواسطة الحقن المائي

لا يمكن ان تصل نقطة الحالة النهائية B إلى خط التشبع اذا حقن كل الماء في المبخر. اذا درجة حرارة الماء تساوي صفر فان العملية تحدث على امتداد خط المحتوى الحراري الثابت.

اذا كانت T_c تساوي درجة الحرارة الرطبة فان العملية تحدث على امتداد خط درجة حرارة الهواء الرطب الثابتة.

اذا T_c اعلى من درجة حرارة الهواء الرطب فان العملية تحدث على امتداد الخط الذي يصل A مع C_2 على منحنى التشبع.

في معظم التطبيقات العملية فان خط درجة الحرارة الرطبة الثابتة يمثل حقن الماء.

كتلة الاتزان تعطي

$$g_A + m_W = g_B \quad (2.12)$$

واتزان الطاقة يعطي

$$h_A + h_W = h_B \quad (2.13)$$

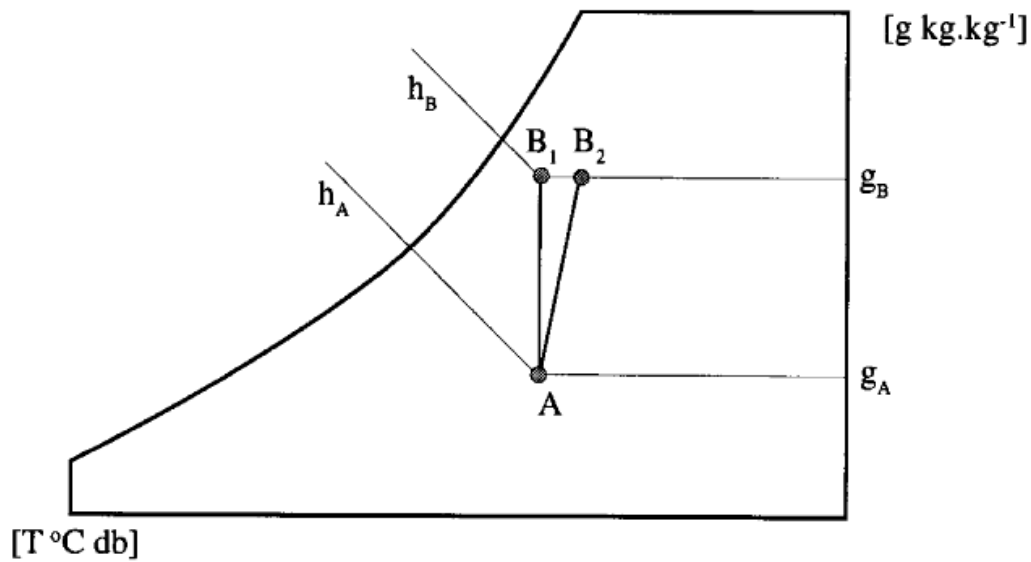
8.3.2 الترطيب بالحقن البخاري Humidification by steam injection

يستخدم البخار بشكل متزايد للترطيب. المحتوى الحراري للبخار يمتلك تأثير قليل على خط العملية على الخريطة. بشكل عملي، يمثل خط درجة الحرارة الجافة الثابتة حقن البخار.

كما هو الحال مع حقن الماء فإن حقن البخار يمكن ان يعبر عنه باستخدام انزان الكتلة واتزان الطاقة.

$$g_B = g_A + m_S$$

$$h_B = h_A + h_S$$



الشكل 10.2 الترطيب بالحقن البخاري

4.2 الاحمال الحرارية المعقولة والكامنة Sensible and latent heat loads

الهواء المكيف المزود للغرفة من خلال نظام تكييف الهواء يجب ان يحافظ على ظروف الغرفة داخل حدود التصميم. في العادة تكون الظروف المرغوبة محددة بدلالة درجة الحرارة الجافة ومحتوى الرطوبة والرطوبة النسبية.

سوف تستجيب غرفة بدون تكييف هواء إلى الظروف الخارجية بسبب انتقال الحرارة سواء إلى او من الداخل والظروف الداخلية مثل الأجهزة المنتجة للحرارة او الأكثر أهمية وهو تبخر المزيد من الرطوبة وتحولها لهواء بسبب أي عملية او بسبب وجود اشخاص.



الاستجابة للظروف المقاسة في الغرفة يمكن تقسيمها الى اثنين من الاحمال الحرارية وتعرف عادة بالحمل الحراري المعقول والذي يشتمل على تغيرات لدرجة حرارة الهواء الجاف عند ثبوت محتوى الرطوبة وحمل الحرارة الكامنة والذي يشتمل على تغيرات في محتوى الرطوبة عند ثبوت درجة الحرارة الجافة. الهواء القادم يجب ان يكون قادرا على موازنة كلا من هذه الاحمال اذا كانت ظروف الغرفة room conditions مستقرة.

1.4.2 الحمل الحراري المعقول Sensible heat load

يمكن التعبير عن الحرارة المفقودة من الغرفة او المكتسبة عند محتوى رطوبة ثابت بوحدة الوات وكذلك الحال لدرجة حرارة الغرفة t_r ودرجة حرارة امداد الهواء t_a يمكن تطبيق الصيغة التالية:

$$q_s = mC_p(t_r - t_a) \quad (2.14)$$

حيث ان

q_s هي حمل الحرارة المعقول

m كتلة تدفق امداد الهواء

C_p الحرارة النوعية للهواء الرطب

بوضوح اذا حمل الحرارة موجب فان $t_a < t_r$.

هذا يؤدي إلى انه على خريطة السيكرومتري يكون حالة امداد الهواء في الشتاء على يمين ظروف الغرفة وإلى اليسار في الصيف.

وبالتالي فان

$$q_s = m.c(t_r - t_a) \quad (2.15)$$

أو

$$q_s = m(h_r - h_a) \quad (2.16)$$



2.4.2 الحمل الحراري الكامن Latent heat load

طريقة بديلة للتعبير عن التغيير في محتوى رطوبة الغرفة يعود الى الطاقة الداخلة المطلوبة لتبخير تلك الكمية من الماء بالاعتماد على الحرارة الكامنة للتبخير عند درجة الحرارة تلك.

وبالتالي فان الهواء المزود إلى الغرفة يجب ان يمتلك القدرة على امتصاص هذه الكمية من الماء المتبخر وبالتالي الحفاظ على ظروف الغرفة.

يمكن التعبير عن حمل الحرارة الكامنة على النحو التالي

$$q_L = \text{kg of water evaporated} \times \text{latent heat of evaporation /kg} \quad (2.17)$$

اذا كان الهواء المزود عند محتوى رطوبة $g_a \text{ kgkg}^{-1}$ ونقطة تصميم الغرفة هي $g_r \text{ kgkg}^{-1}$ فان قدرة الهواء القادم على امتصاص الرطوبة تعرف على النحو التالي:

$$\text{Mass flow rate supply air} \times (g_r - g_a) = m(g_r - g_a) \text{ kgkg}^{-1} \quad (2.18)$$

وعليه فان حمل الحرارة الكامنة الممثل بفرق الرطوبة هذا والذي هو: $m(g_r - g_a) \text{ kgkg}^{-1} \times \text{الحرارة الكامنة للتبخير } \text{kg}^{-1}$ وللحفاظ على ظروف التصميم فان:

$$q_L = m(g_r - g_a)h_{fg} \quad (2.19)$$

حيث ان h_{fg} هي الحرارة الكامنة للتبخير عند درجة حرارة الغرفة.

لغرفة بحرارة كامنة موجبة فان نقطة الامداد يجب ان تقع اسفل نقطة تصميم الغرفة.

3.4.2 العلاقة بين حالة الغرفة وحالة امداد الهواء Relation between room state and supply air state

حيث ان امداد الهواء يجب ان يعادل او يوازن كلا من الاحمال الحرارية المعقولة والكامنة في نفس الوقت لذا فان حالة امداد الهواء يمكن ان تعرف بدلالة درجة الحرارة الجافة ومحتوى الرطوبة واحمالهما الحرارية.

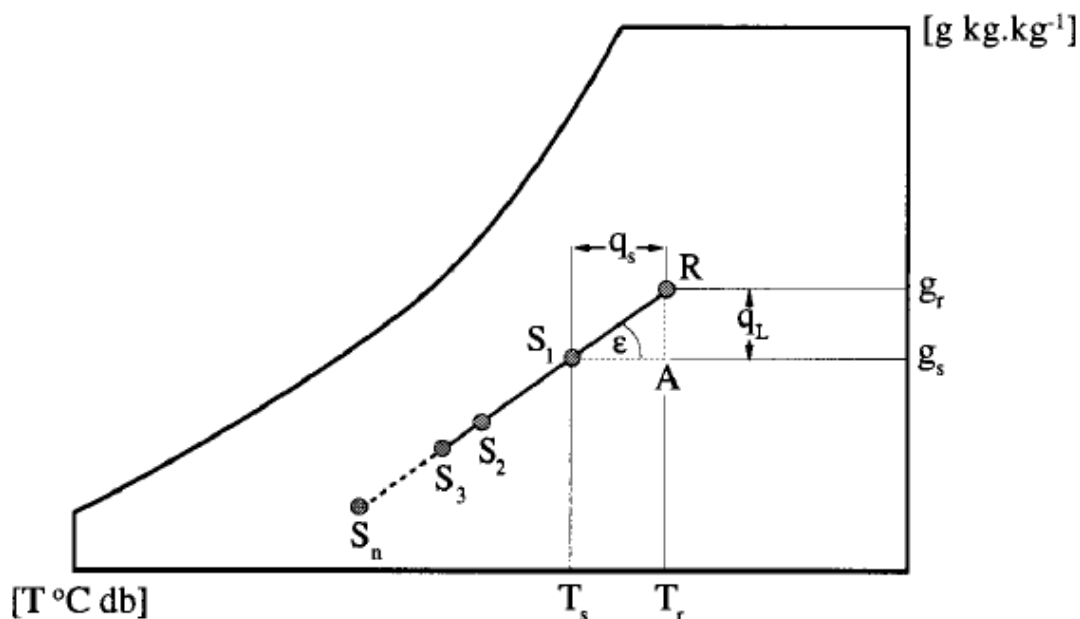
- المعقول: $q_s = mc(t_r - t_a)$
- الكامن: $q_L = m(g_r - g_a)h_{fg}$
- اذا t_a و g_a و m هم القيم المتغيرة فقط.

$$g_a = g_r - \frac{q_L}{mh_{fg}} \quad \text{و} \quad t_a = t_r - \frac{q_s}{mc}$$

هذه الصيغ تؤكد انه كلما كان معدل تدفق الكتلة اكبر كلما كانت نقاط الامداد والغرفة اقرب.

4.4.2 خط امداد الغرفة ونسبة الحرارة المعقولة

كما هو موضح أعلاه فان هناك عدد غير محدود من نقاط حالة امداد الهواء التي توازن كلا من الاحمال الحرارية الكامنة والمعقولة. كل ذلك على خط مستقيم مرسوم في المستوى t-g على خريطة السيكرومتري.



الشكل 11.2

$$\text{الان } q_S = (h_A - h_S) \text{ و } q_L = (h_R - h_A)$$

يعرف خط امداد الغرفة في بعض الأحيان كخط نسبة الغرفة والذي له ميل يحدد بواسطة

$$\tan \epsilon = \frac{q_L}{q_S} \quad (2.20)$$

تعريف بديل هو بأخذ معامل نسبة الحرارة المعقولة على النحو التالي:



$$SHR = \left(\frac{q_s}{q_s + q_l} \right) \quad (2.21)$$

5.4.2 الحرارة الكامنة للتبخير Latent heat of evaporation

الطاقة المطلوبة لتبخير وحدة كتلة من الماء h_{fg} تعتمد على درجة الحرارة. بعض القيم الشائعة موضحة في الجدول التالي.

Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Latent Heat of evaporation (kJ/kg)
0	2501
5	2489
20	2454
30	2430
50	2382
100	2257
150	2114
200	1940

الجدول 1.2



أسئلة تدريبية 1

استخدم بيانات السيكروميتر

1. باستخدام خريطة السيكروميتر CIBSE اكمل الجدول التالي لقيم بخار الهواء الرطب.

Dry bulb temp °C	Wet bulb temp °C	Specific enthalpy kJ/kg	Specific volume m ³ /kg	% saturation	Moisture content kg/kg
40 ⁰ C-	-	-	-	-	0.01
40 ⁰ C	20 ⁰ C	-	-	-	-
40 ⁰ C	-	-	-	30%	-
15 ⁰ C	-	-	0.82	-	-
25 ⁰ C	15 ⁰ C	-	-	-	-
30 ⁰ C	-	30	-	-	-
50 ⁰ C	-	120	-	-	-

2. باستخدام خريطة السيكروميتر اكتب درجة حرارة نقطة الندى لظروف الهواء الرطب التالية:

1 45⁰Cdb, 0.010 kg/kg moisture content

2 15⁰Cdb, 10 Cwb

3 50Cdb, 120 kJ/kg specific enthalpy

4 15⁰Cdb, 0.82m³/kg specific volume

5 40⁰Cdb, 30% saturation.

3. احسب الحرارة النوعية للرطوبة لكل من ظروف الهواء في السؤال 1.2.

4. احسب المحتوى الحراري النوعي لكل ظروف الهواء في السؤال 1.2.



أسئلة تدريبية 2

المخاليط

1. بين ان حالة الخليط النهائي بين مجريين هواء رطب يمكن ان تمثل بواسطة نقطة على خط مستقيم على خريطة السيكرومتري تربط ظروف الهواء المخلوط.

2. مجرى من هواء رطب عند درجة حرارة جافة 21°C ودرجة حرارة رطوبة 14.5°C اختلط مع مجرى اخر من الهواء الرطب عند درجة حرارة جافة 28°C ودرجة حرارة رطوبة 20.2°C فان الكتل المقابلة للهواء الجاف كانت 3kg و 1kg . من الخريطة او الجداول احسب ظروف الهواء المخلوط.

3. مجرى هواء رطب عند درجة حرارة جافة 25°C ومحتوى حراري نوعي 40kJ/kg خلط مع مجرى هواء بحيث ان ظروف الخليط النهائية أصبحت درجة الحرارة الجافة 20°C ودرجة الحرارة الرطوبة 12°C . اذا اعيد تدوير الخليط ليتحول الهواء إلى هواء جديد كان من 75% إلى 25% احسب ظروف امداد الهواء.

4. احسب التدرج في الخط المستقيم على خريطة السيكرومتري بدلالة محتوى الرطوبة لكل درجة حرارة جافة توصل ظروف امداد الهواء مع ظروف الغرفة اذا ظروف الخليط النهائي المطلوبة هي درجة حرارة جافة 21° وتشبع بمقدار 50% وظروف الامداد هي على النحو التالي:

1. 8°Cdb , 5°C wet bulb
2. 30% saturation, 5kJ/kg specific enthalpy
3. 5° wet bulb, $0.8\text{m}^3/\text{kg}$ specific volume
4. 15kJ.kg specific enthalpy, $0.82\text{m}^3/\text{kg}$ specific volume



أسئلة تدريبية 3

التسخين والتبريد المعقول

1. احسب الحمل في الملف الحراري التي ترفع $2\text{m}^3/\text{sec}$ من الهواء الرطب، والذي يكون في حالة ابتدائية بمقدار 15°C وتشبع 70% بمقدار 25°C . اذا استخدم ماء ساخن عند ضغط منخفض في بطارية التسخين، يدخل عند درجة حرارة 75°C احسب معدل تدفق الماء اللازم.

2. في السؤال 1 معدل التدفق لماء السخان يقل بمقدار 25% احسب:

(a) الانخفاض في ارتفاع درجة حرارة الهواء

(b) درجة حرارة الماء المطلوب عند مدخل السخان اذا كان المطلوب رفع درجة حرارة الهواء بمقدار 25°C . افترض كل المتغيرات الأخرى لا تتغير.

3. هواء رطب عند درجة حرارة رطوبة 25°C ومحتوى رطوبة 0.014 kg/kg يجب ان يبرد بماء مثلج درجات حرارة المدخل والمخرج هي 8°C و 12°C . ارسم معدل تدفق الهواء مقابل معدل تدفق الماء البارد لكل درجة حرارة جافة من الهواء البارد وحدد اقل درجة حرارة هواء يمكن ان نصل لها بواسطة مثل هذا النظام بدون تغير في رطوبة الهواء.

4. مكتب يمتلك حصيلة تسخين معقول مقدارها 10 kW عندما تكون درجة حرارة الهواء والغرفة هي 20°C درجة حرارة جافة. احسب معدل تدفق الكتلة المطلوب لمورد الهواء للحفاظ على الغرفة عند درجة حرارة التصميم عندما تكون درجة حرارة الهواء المورد يمكن ان تكون 12°C درجة حرارة جافة.

توضيح لحل السؤال 4

المعادلة

$$SHG = q_{shg} = mc_p (t_r + t_s) \quad (2.14)$$

يعاد ترتيبها لتكون

$$m = \frac{q_{shg}}{c_p (t_r + t_s)} = \frac{10\text{kW}}{1.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \times (20 - 12)} = 1.04\text{kg/s}$$



أسئلة تدريبية 4

الترطيب والتخلص من الترطيب

1. عرف

(a) درجة حرارة نقطة الندى

(b) معدات درجة حرارة نقطة الندى

(c) معامل الاتصال او معامل المرور

(d) حجرة الرش والفاعلية

(e) كفاءة الترطيب

(f) الترطيب الاديياتيكي

2. اثبت ان كلا من ملف التبريد وحجرة الرش يمكن ان تستخدم للتخلص من الترطيب.

3. مقدار $2.5\text{m}^3/\text{s}$ من الهواء الرطب عند درجة حرارة جافة 30°C ودرجة حرارة رطوبة و 19°C تمر على ملف تبريد وتترك عند 15°C درجة حرارة جافة ومحتوى رطوبة $8\text{g}/\text{kg}$.

احسب

(a) معدات نقطة الندى

(b) معامل الاتصال

(c) حمل التبريد

(d) معدل تدفق كتلة الماء المثلج اذا فرق درجة الحرارة 80°C سجل عبر مدخل ملف الماء البارد

والمخرج.

4. استخدم ماء رش عند درجة حرارة 5°C في حلقة هواء تهدف الى التخلص من ترطيب $2.0\text{ m}^3/\text{s}$ من الهواء الرطب الداخل عند حالة 28°C و 19°C درجة حرارة رطوبة. اذا كفاءة الحلقة هي 90%. احسب حالة الهواء عند المخرج من الحلقة وحمل التبريد المتضمن. احسب معدل التخلص من الماء الضروري.



5. مقدار من الهواء الرطب $2.3\text{m}^3/\text{s}$ عند درجة حرارة جافة 15°C ودرجة حرارة رطوبة و 19°C تدخل حجرة الرش لغرفة الغسل. كفاءة الترطيب هي 90% والماء المرشوش اعيد تدويره ومرر الماء عند 9°C لتعويض الفقد الحادث بسبب التبخر. احسب حالة الهواء التي تترك مرحلة الغسل ومعدل تدفق الماء الناتج.

6. هواء رطب $3\text{m}^3/\text{s}$ عند درجة حرارة جافة 25°C ودرجة حرارة رطوبة و 15°C تمر من خلال غرفة الرش حيث 0.009kg من الماء تحقن في تدفق هوائي وتبخر بالكامل. احسب حالة خروج الهواء اذا الماء المحقون يكون عند:

- a) 0°C
- b) 10°C
- c) 50°C
- d) 100°C

7. تدفق مشبع جاف يمكن ان يتولد عند مدى من درجات الحرارة والضغط من 100°C وحتى 234°C ويمكن ان يحقن في تدفق الهواء لزيادة الرطوبة. على خريطة CIBSE ارسم هذه العمليات لمدى درجات حرارة البخار اذا حالة الهواء الرطب هي 30°C درجة حرارة جافة و 12°C درجة حرارة رطوبة و 0.010kg/s من البخار المحقون لكل m^3/s من الهواء الجاف المار.

احسب ظروف الهواء الرطب النهائية

اعتبر الحرارة النوعية للماء عند 1.89kJ/kg

الحرارة النوعية للهواء الجاف هي 1.01kJ/kg

المحتوى الحراري للتدفق المشبع الجاف عند 100°C تساوي 2676kJ/kg

المحتوى الحراري للتدفق المشبع الجاف عند 234°C تساوي 2800kJ/kg

تمت الترجمة في المركز العلمي للترجمة

30-7-2013

www.trgma.com