

# أساسيات تقنية تكييف الهواء

## العمليات الأساسية لتكييف الهواء

**الءءارة:** معرفة العملفء السفكرومءرفة.

**الأءاف:**

عءءما ءكمل هءه الوحءة ءكون قاءرا على:

- ءمشف العملفء السفكرومءرفة المءءلفة على الءرفطة السفكرومءرفة.
- ءءفء نفطة الءلط لءفارفن من الهواء.
- قراءة القفم من الءرفطة واءراء الءساباء اللازمة.

**مساءى الأءاء المءلوب:**

أن فصول المءءرب إلى الإءقان الكامل لهءه الءءارة وبنسبة ١٠٠٪.

**الوقت المءوقع للءءرفب:**

١٠ ساءة ءءرفففة.

## الوحءة الثالثة : العمليات الأساسية لتكييف الهواء

### Air Conditioning Processes

#### مقدمة

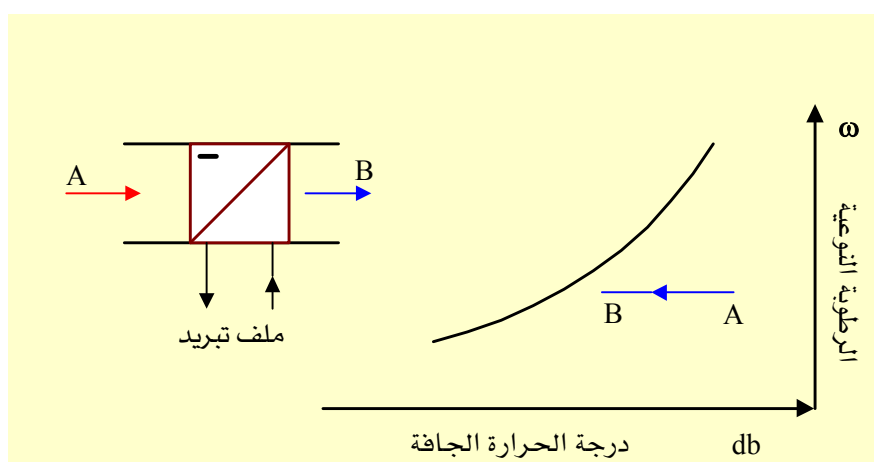
تشتمل العمليات السيكمرومترية الأساسية لتكييف الهواء على العمليات التالية:

١. تبريد محسوس.
  ٢. تسخين محسوس.
  ٣. تبريد تبخيرى.
  ٤. تبريد مع إزالة رطوبة.
  ٥. حقن بالبءار (ترطيب فقط).
  ٦. تسخين مع ترطيب.
  ٧. إزالة الرطوبة كىمىائياً.
  ٨. إزالة رطوبة فقط
- وفى هذه الوحءة سوف يتم دراسة العمليات الخمس الأولى بالإضافة إلى عملية الخلط الاءىباتى للهواء.

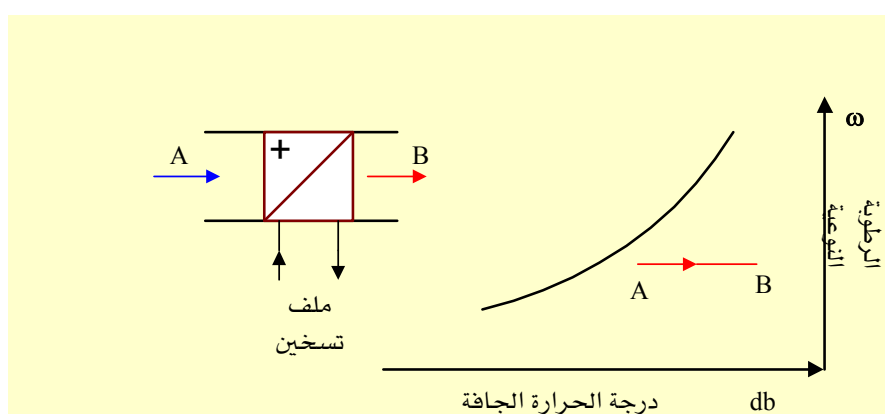
## العمليات السيكرومترية : Psychrometric Processes

## 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 (مثل ذلك التدفئة الشتوية). هذه العمليات تمثل على الخريطة السيكرومترية بخطوط أفقية موازية لخط درجة الحرارة الجافة. يكون التبريد تبريداً محسوساً 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 (٣ - ١): التبريد المحسوس



شكل (٣ - ٢): التسخين المحسوس

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

درجة الندى	الانثاليبي	الحجم النوعي	الرطوبة النوعية	الرطوبة النسبية	درجة الحرارة الرطبة	درجة الحرارة الجافة	
$dp$	$h$	$v$	$\omega$	$RH$	$wb$	$db$	
=	↓	↓	=	↑	↓	↓	التبريد المحسوس
=	↑	↑	=	↓	↑	↑	التسخين المحسوس

جدول (٣ - ١): 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:

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

$$Q = \dot{m} c_p \Delta T \quad \text{أو}$$

حيث :

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

الحرارة النوعية للهواء  $c_p = 1.006 \text{ kJ / kgK}$

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

الفرق في درجة حرارة الهواء  $\Delta T =$

مثال ١:

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

إذا كان المائع المستخدم لملف التسخين هو ماء ساخن يدخل الملف عند  $85^\circ\text{C}$  ويخرج عند

$75^\circ\text{C}$ . احسب كتلة الماء المار في الملف ( $c_{p_{\text{water}}} = 4.18 \text{ kJ / kgK}$ )

الحل:

من الخريطة السيكمرومترية:

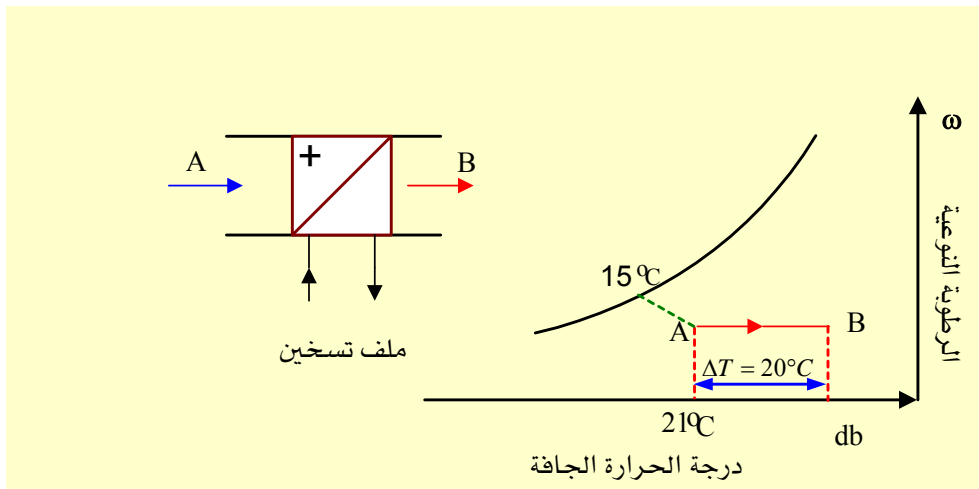
$$h_A = 41.5 \text{ kJ / kg}$$

$$h_B = 61.5 \text{ kJ / kg}$$

$$v_A = 0.844 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

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

معدل سريان الهواء ( $\dot{m}_a$ )



شكل (٣ - ٣):

حمل ملف التسخين ( $Q_{cc}$ )

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

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

$$= 1.78 \times 1.0 \times 20 = 35.6 \text{ kW}$$

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 kW)

$$(q_w) = (q_a)$$

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

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

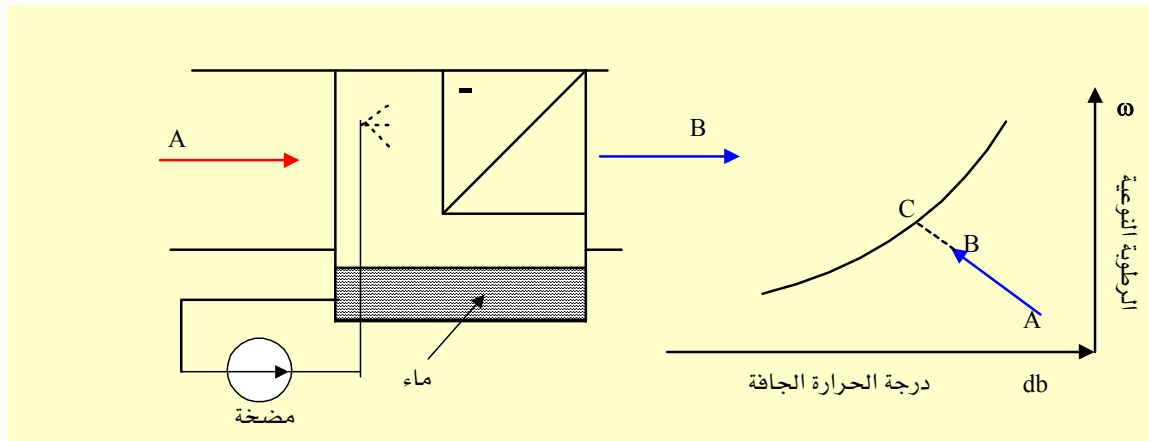
$$\dot{m}_w = \frac{35.6}{4.18 \times 10} = 0.85 \text{ kg / s}$$

## 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 السيكمرومترى بخط موازي لخطوط ثبوت الإنثالبي، غير أنه عند التصميمات الهندسية يمكن تمثيل هذه العملية على خط ثبوت درجة الحرارة الرطبة.



شكل (٣-٤): الترطيب الأدياباتي

أثر التبريد التبخيري يمكن تلخيصه بالجدول التالي:

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

جدول (٣-٢): 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 ( $\eta_s$ ) saturation efficiency وتتراوح عملياً بين 80% إلى 90%.

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

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

مءال ٢ :

- ١٥  $\frac{m^3}{s}$  من الهواء الرطب عند ٤٥°C(db) و ٣١°C(wb) ءم إمراره ءلال رشاشاء لغسالة الهواء. إذا كانت كفاءة الإشباع ءساوى ٩٠% ، اءسب :
- ءالة الهواء عند ءروءه من غسالة الهواء
  - معءل سرفان ماء ءءوففء

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

$$\omega_{A,} = 0.0226 \frac{kg}{kg}$$

من ءرفطة

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

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

 $\omega_B$ 

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

أفضا فمكن ءساب ءرءة ءرارة بعء عملفة ءرطففء الأءفاباففء عند النقطة B

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

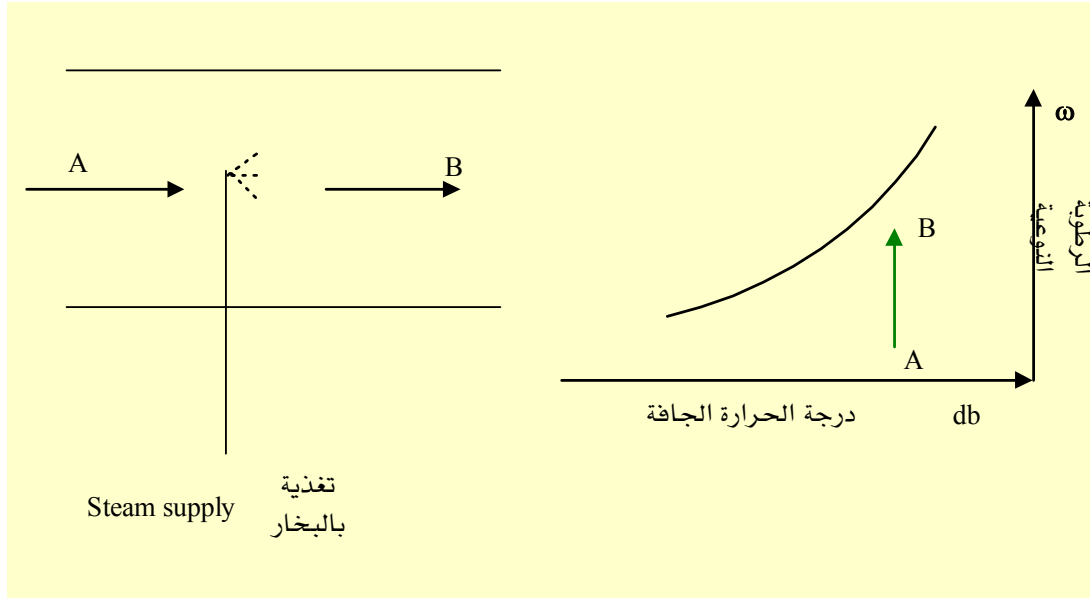
$$0.90 = \frac{45 - T_B}{45 - 32.5}$$

$$T_B = 33.75^\circ C$$

**ملءوظة:** بواءسطة القفياس ومعرفة كفاءة الإشباع، فمكن ءءفء النقطة B ومن ءم إفءاء أف ءاصفة من ءواص الهواء الفف ءوضءها ءرفطة السفكرومءرفة وهءه ءعءبر من أسهل الطرق.



## ثالثاً: حقن البخار Steam injection



شكل (٣ - ٥): حقن البخار

يمكن إضافة الرطوبة إلى الهواء عن طريق حقن بخار الماء كما موضح في الشكل (٣ - ٥). تحت هذه الظروف ستظل درجة الحرارة الجافة نفسها تقريباً كما يوضح الشكل. نتيجة لذلك ترتفع رطوبة الهواء ودرجة الحرارة الرطبة، طاقة الإنشائي، الرطوبة النسبية، الحجم النوعي ودرجة الندى.

مثال ٣:

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

$$\omega_1 = 0.0079 \frac{kg}{kg}$$

محتوى الرطوبة للهواء قبل الإجراء

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

الرطوبة المضافة

$$\omega_2 = \omega_1 + \Delta\omega$$

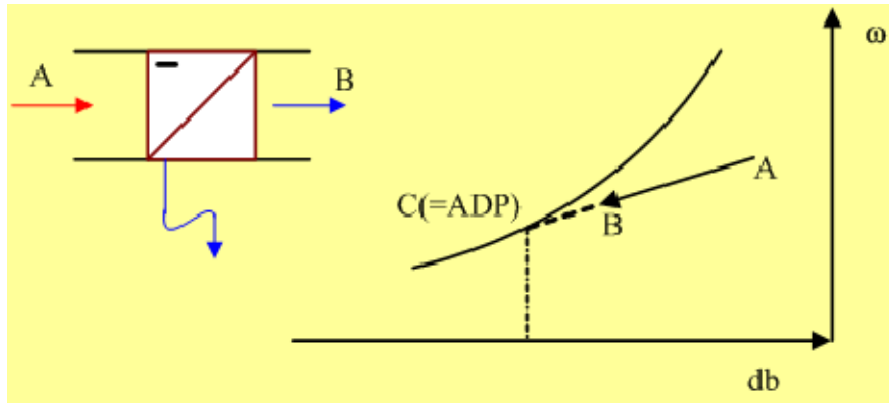
محتوى الرطوبة النهائي

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

رابعاً: عملية التبريد مع إزالة الرطوبة Cooling &amp; 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 سطحاً بارداً (ملف تبريد) له درجة حرارة أقل من درجة الندى. . الرسم التالي يوضح هذه العملية على الخريطة السيكرومترية.



شكل (٣ - ٦): 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 أنه 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 الحقيقية للهواء عند خروجه من ملف التبريد هي النقطة B والخط AC يرسم خطاً مستقيماً لتسهيل العمل، ويعرف ناتج قسمة المسافة AB على المسافة AC بمعامل التلامس (contact factor) ملف التبريد

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

أو باستعمال درجات الحرارة:

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

كما يمكن تعريف الإمرار الجانبي (1-β) ما يلي:

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

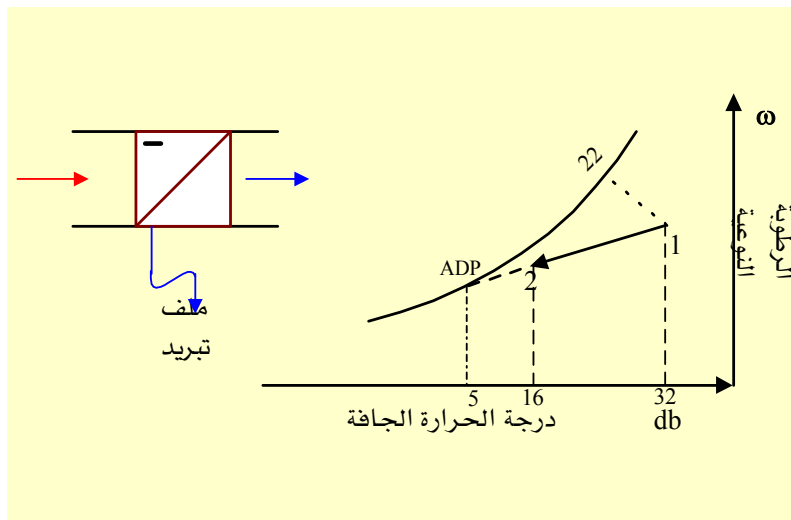
أو

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

## مثال ٤:

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

- الشكل التالي يوضح العملية على الخريطة السيكمرومترية:



شكل (٣-٧):

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

$$db_1 = 32^{\circ}\text{C}, wb_1 = 22^{\circ}\text{C}, RH_1 = 40\%, \omega_1 = 0.0123 \text{ kg/kg},$$

$$h_1 = 63.7 \text{ kJ/kg}, v_1 = 0.882 \text{ m}^3/\text{kg}, dp_1 = 17.2^{\circ}\text{C}$$

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

$$-Db_2 = 16^{\circ}\text{C}, wb_2 = 13.2^{\circ}\text{C}, RH_2 = 73\%, \omega_2 = 0.0083 \text{ kg/kg},$$

$$h_2 = 37 \text{ kJ/kg}, v_2 = 0.83 \text{ m}^3/\text{kg}, dp_2 = 11.2^{\circ}\text{C}$$

- 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 ( $\dot{m}_w$ )

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

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

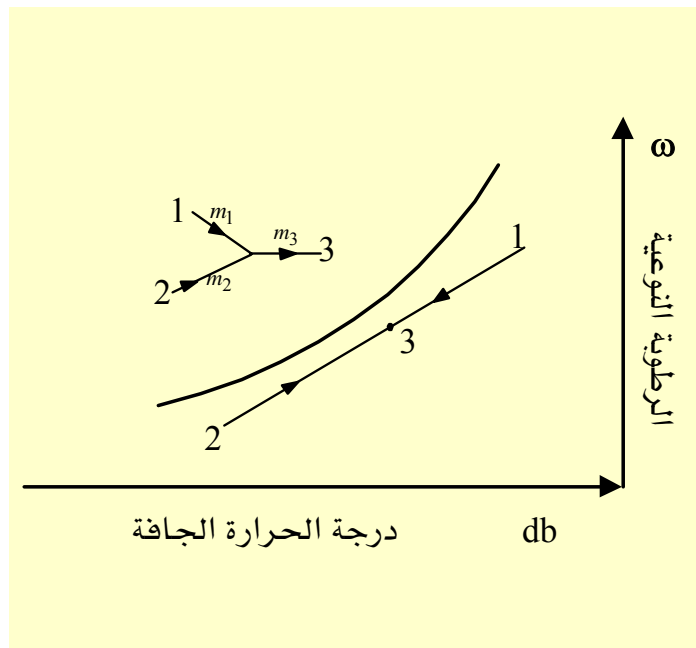
- سعة ملف التبريد ( $Q_{cc}$ )

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

### 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 مهملاً وذلك نسبة لأن وحدة مناولة الهواء غالباً 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 خليطاً كتلته ( $m_3$ ) وخواصه كما تبينه النقطة (3)



شكل (٣ - ٨): 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.

مثال ٥ :

هواء رطب عند  $32^\circ\text{C}(wb), 60^\circ\text{C}(db)$  خلط أدياباتيا مع هواء رطب آخر عند درجة حرارة  $0.5^\circ\text{C}(wb), 5^\circ\text{C}(db)$  وإذا كانت كتلتا الهواء الجاف هما  $3 \text{ kg}$ ،  $2 \text{ kg}$  على التوالي. أوجد طاقة الانثاليبي، الرطوبة النوعية والحرارة الجافة للخليط.

باستخدام الخريطة السيكرومترية، تحدد النقطة (1)  $60^\circ\text{C}(db)$  و  $32^\circ\text{C}(wb)$

و تحدد النقطة (2)  $5^\circ\text{C}(db)$  و  $0.5^\circ\text{C}(wb)$

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

من الخريطة تقرأ الخصائص التالية:

$$h_3 = 69 \text{ kJ/kg} \quad \text{و} \quad w_3 = 0.0118 \text{ kg/kg} \quad \text{و} \quad T_3 (db) = 38.5^\circ \text{C}$$

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

$$h_1 = 107.5 \text{ kJ/kgK} \quad h_2 = 9 \text{ kJ/kgK}$$

وباستعمال معادلة الإنثالبي :

(2) وبعد حساب قيمة الإنثالبي  $h_3$  ( كما سبق ) يمكن تحديد النقطة (3)

مثال ٦:

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

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

النقطة (1) \_\_  $-1^\circ \text{C}(db), 100\%RH$

$$h_1 = 7.5 \text{ kJ/kgK} \quad v_1 = 0.774 \text{ m}^3/\text{kg} \quad \text{إذن}$$

النقطة (2) \_\_  $22^\circ \text{C}, 50\%RH$

$$h_2 = 43.5 \text{ kJ/kgK} \quad v_2 = 0.847 \text{ m}^3/\text{kg}$$

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

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

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

وباستعمال المعادلة التالية يمكن تحديد نقطة الخلط (3):

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

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

$$(RH)_3 = 65\% \quad w_3 = 0.0066 \text{ kg/kg}$$

$$T_3 = 14^\circ \text{C} \quad v_3 = 0.822 \text{ m}^3/\text{kg}$$

### خلاصة

● العمليات السيكمرومترية 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 السيكمرومترية 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 الانتالبي، غير أن كثيرا من المصممين يعتبرون هذه العملية عند ثبوت درجة الحرارة الرطبة .
- عملية حقن البخار: عملية رأسية على الخريطة السيكمرومترية 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

- ١- هواء رطب عند  $30^{\circ}\text{C}(\text{db}), w = 0.0102 \text{ kg} / \text{kg}$  تم تسخينه بمقدار  $10^{\circ}\text{C}$ . ارسم هذه العملية على الخريطة السيكمرومترية 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							

- ٢- إذا أريد تسخين ( محسوس )  $16 \text{ kg} / \text{s}$  من الهواء الرطب عند  $15^{\circ}\text{C}(\text{db})$  ورطوبة نوعية  $0.005 \text{ kg } H_2O / \text{kg}$  بمقدار  $15^{\circ}\text{C}$ . احسب سعة ملف التسخين .
- ٣- سخان كهربائي تم تركيبه في مجرى هوائي لتسخين ( تسخين محسوس )  $200 \text{ kg} / \text{hr}$  هواء من  $20^{\circ}\text{C}(\text{db}), 50\% \text{RH}$  إلى. أوجد سعة السخان حسابياً وبواسطة الخريطة السيكمرومترية.
- ٤-  $1.5 \text{ m}^3 / \text{s}$  من الهواء الرطب عند  $30^{\circ}\text{C}(\text{wb}), 45^{\circ}\text{C}(\text{db})$  تدخل غرفة بها رشاشات لغسالة هواء ( ترطيب أدياباتى ). إذا كانت درجة حرارة الهواء الجافة عند الخروج تساوي  $22^{\circ}\text{C}$  درجة مئوية أوجد :-
- ١- كفاءة الإشباع
- ٢- معدل سريان ماء التعويض.

- ٥-  $1.5 \text{ m}^3 / \text{s}$  من الهواء الرطب عند  $30^{\circ}\text{C}(\text{db}), w = 0.0102 \text{ kg} / \text{kg}$  تم تبريده خلال ملف التبريد إلى  $10^{\circ}\text{C}(\text{db})$ . إذا كانت درجة سطح ملف التبريد  $5^{\circ}\text{C}$ . ارسم هذه العملية على الخريطة السيكمرومترية ومن ثم أوجد :
- معامل التلامس لملف التبريد
- سعة ملف التبريد

- ٦-  $720 \text{ m}^3 / \text{min}$  (متر<sup>٣</sup> / الدقيقة ) من الهواء الرطب عند الأحوال  $30^{\circ}\text{C}(\text{db}), 24^{\circ}\text{C}(\text{wb})$  تدخل ملف تبريد وتخرج من ملف التبريد عند الأحوال التالية :-  $15^{\circ}\text{C}(\text{db}), 90\% \text{RH}$ . أوجد سعة وكفاءة ملف التبريد وكمية ماء التكثيف بوحدة  $\text{L} / \text{hr}$ .

- ٧- هواء بارد عند  $12^{\circ}\text{C}(\text{db}), 20\% \text{RH}$  تم تسخينه إلى  $37^{\circ}\text{C}(\text{db})$  ومن ثم ترطبه أدياباتيا إلى  $\text{RH} = 90\%$ . ارسم هاتين العمليتين على الخريطة السيكمرومترية ومن ثم احسب كفاءة الترطيب.

- ٨-  $0.5 \text{ m}^3 / \text{s}$  من الهواء الرطب عند  $45^{\circ}\text{C}(\text{db}), 25^{\circ}\text{C}(\text{wb})$  تم تبريدها إلى  $38^{\circ}\text{C}(\text{db})$  بواسطة الماء البارد ثم بعد ذلك تم ترطيبها أدياباتيا في غسالات الهواء. بافتراض كفاءة الترطيب لغسالات الهواء تساوي  $90\%$ ، أ- ارسم العمليتين أعلاه على الخريطة السيكمرومترية



ب - أوجد كمية ماء الترطيب

٩ -  $2\text{kg/s}$  من الهواء الرطب عند  $35^\circ\text{C}(db), 30^\circ\text{C}(wb)$  تم خلطها مع  $0.2\text{kg/s}$  من الهواء الرطب عند  $10^\circ\text{C}$  ,  $100\text{RH}$  . أوجد خواص الهواء عند نقطة الخلط..

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

١ - درجة الحرارة الجافة      ٢ - الحجم النوعي      ٣ - درجة الندى.

١١ - غرفة عند  $24^\circ\text{C}(db), 50\%RH$  وحالة الهواء الخارجي  $4^\circ\text{C}(db), 50\%RH$  . الهواء الراجع من الغرفة يبرد و تزال رطوبته بعد خلطه مع الهواء الخارجي. إذا كانت نسبة الهواء الراجع ٤٠ % ونسبة الهواء النقي ( الخارجي ) ٦٠ % . أوجد درجة الحرارة الجافة والرطوبة النوعية للهواء الخليط.

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

أ - سعة ملف التبريد

ب - كمية الرطوبة المزالة

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

أ - سعة ملف التسخين

ب - كمية ماء الترطيب