الباب الثالث
عمليات السيكرومتري
PSYCHROMETRIC PROCESSES

1-3	عملية التسخين المحسوس	(Sensible heating process)
2-3	عملية التبريد المحسوس	(Sensible cooling process)
3-3	عملية الترطيب	(Humidification process)
4-3	الترطيب الإدياباتي	(Adiabatic humidification)
5-3	عملية تسخين وترطيب	(Heating and humidification process)
6-3	عملية تبريد وإزالة رطوبة	(Cooling and dehumidification process)
7-3	درجة الندى للجهاز	(Apparatus dew point)
8-3	الهواء الماء جانبياً	(By – pass air)
9-3	معامل الحرارة المحسوسة	(Sensible heat factor)
10-3	عملية الخلط	(Mixing process)
11-3	إزالة الرطوبة كيمائياً	(Chemical dehumidification)
12-3	مسائل	(Problems)

الباب الثالث
عمليات السيكرومتري
PSYCHROMETRIC PROCESSES

عمليات السيكرومتري عبارة عن عمليات تسخين أو ت للهواء مع إضافة أو إزالة الرطوبة حسب الحاجة.

العمليات السيكرومترية الأساسية والتي تتم خلال مكونات أجهزة تكييف الهواء هي:

1-3 عملية التسخين المحسوس (Sensible heating process)

شكل (3-1)

يوضح شكل عملية التسخين المحسوس للهواء ممثلة بالخط الأفقي (12). عند مرور الهواء خلال السخان الكهربائي أو ملف التسخين (Heating coil) الذي يسري خلال بخار ماء، بخار فريون في حالة استخدام المضخة الحرارية أو ماء ساخن تزداد درجة حرارة الهواء من (t1) إلى (t2)، تقل الرطوبة النسبية للهواء (R.H) بينما تبقى نسبة رطوبة الهواء (H) ودرجة الندى (d.p) ثوابت أي أن:

$$d.p = C/H_1 = H_2\ C \qquad R.H_2 < R.H_1 \qquad t_1 < t_2$$

معادلة الاتزان الحراري لعملية التسخين المحسوس (12) وهي:

$$I_1 + Q = I_2$$

تعين سعة ملف التسخين بالمعادلة:

$$H.C = m_a\ (i_2 - i_1) \quad kw$$

حيث:

m_a - معدل سريان الهواء، (kg/s)

I – الانثالبيا النوعية للهواء (kJ / kg)

2-3 عملية التبريد المحسوس (Sensible cooling process)

شكل (3-2)

يوضح شكل (3-2) عملية التبريد المحسوس للهواء ممثلة بالخط الأفقي (12) عند مرور الهواء خلال ملف التبريد، الذي يسرى خلال ماء مثلج أو مائع تبريد (فريون)، تنخفض درجة حرارة الهواء من (t1) إلى (t2) تزداد الرطوبة النسبية للهواء (R.H) بينما تبقى نسبة رطوبة الهواء (H) ودرجة الندى (d.p) ثوابت. أي أن:

$$d.p = C\ ,\ H_1 = H_2 = C \qquad R.H_2 > RH_I \qquad t_2 < t_1$$

معادلة الاتزان الحراري لعملية التبريد المحسوس (12) هي: $I_1 = Q + I_2$

تعيين سعة ملف التبريد بالمعادلة:

$$C.C = m_a\ (i_1 - i_2) \quad KW$$

لتعيين سعة ملف التبريد بطن التبريد يجب معرفة العلاقة بين الكيلووات وطن التبريد.

طن التبريد هو عبارة عن كمية الحرارة التي يجب سحبها من واحد طن امريكاني من الماء عند درجة حرارة مقدارها 32° ف وذلك لتحويله إلى ثلج عند نفس درجة الحرارة خلال 24ساعة.

حيث أن الطن الأمريكاني يساوي (2000 Ib) والطاقة الكامنة لإذابة الثلج عند (32ºF) تساوي (144 BTU/Ib).

$$\therefore T.O.R = 2000X144X\frac{1}{24} = 12000\ BTU/h$$

حيث أن: $kcal = 3.98\ BTU$

$$\therefore T.O.R = 3000\ Kcal/h$$

وحيث أن: $Kcal = 4.1868\ kJ$

$$\therefore T.O.R = 12500\ Kcal/h$$

وحيث أن: $KW = kJ/s$

∴ طن التبريد يساوي 3.5 كيلو وات. أي أن:

$$T.O.R = 3.5\ kW$$

وتصبح معادلة سعة ملف التبريد:

$$C.C\ m_a\ (i_1 - i_2) \qquad T.O.R$$

3-3 عملية الترطيب (Humidification Process)

شكل (3-3)

يوضح شكل (3-3) الاحتمالات المختلفة لعملية ترطيب الهواء وهي:

أ ـ عملية ترطيب بواسطة بخار مشبع (12) درجة حرارته مساوية لدرجة الحرارة الجافة ($d.b_1$)

ب ـ عملية ترطيب وتسخاسطة رش ماء ساخن (Ia) درجة حرارته أعلى من درجة حرارة الهواء الجافة ($d.b_1$).

جـ ـ عملية ترطيب وتبريد بواسطة رش ماء مثلج (Ib) درجة حرارته أقل من درجة حرارة الهواء الجافة ($d.b_1$) وأعلى من نقطة الندى.

3-4 الترطيب الادياباتي (Adiabatic humidification)

شكل (3-4)

معادلة الاتزان الحراري للحجم المحدد المعزول الموضح في شكل (3-4)، هي:

$$I_1 + (H_2 - H_1)\ I_w = I_2$$

حيث:

I_2 , I_1 عبارة عن انثالبيا الهواء الابتدائية والنهائية.

H_2 , H_1 عبارة عن نسبة رطوبة الهواء الابتدائية والنهائية

I_w عبارة عن انثالبيا مياه التعويض.

إذا أهملنا المقدار I_w $(H_2 - H_1)$ لصغره فإن عملية الترطيب (12) تكون مع ثبات الانثالبيا. إذا كان الهواء عند المقطع (2) مشبعاً فإن درجة حرارة الهواء (t_2) تعرف بدرجة التشبع الادياباتي وبدرجة الحرارة الرطبة الثرموديناميكية.

شكل (3-5)

يوضح شكل (3-5 أ) عملية الترطيب الادياباتي والممثلة في خريطة السيكرومتري بالخط المائل (132). عند مرور الهواء خلال وحدة رش المياه التامة العزل، الموضحة في شكل (3-5 ب)، تزداد نسبة رطوبة الهواء من H_1 إلى H_2 وتقل درجة حرارة الهواء من t_1 إلى t_2 بينما تبقى الانثالبيا النوعية للهواء ثابتة. أي أن

$$i_2 = i_1 = C, \qquad t_2 < t_1, \qquad H_2 > H_1$$

حيث أن:

$$i = cp\,\Delta t + L.\,\Delta H = o$$

$$\therefore\ CP\,(t_1 - t_2) = L\,(H_2 - H_1)$$

و

$$Q_a = Q_w$$

أي أن كمية الحرارة Q_W اللازمة لتبخير الماء اللازم لترطيب الهواء تساوي كمية الحرارة Q_a المنتزعة من الهواء والتي تعمل على تبريده.

تعرف عملية التبريد والترطيب المشتركة بعملية التبريد التبخيري (Evaporative cooling) وتمثل بخط ثبات درجة الحرارة الرطبة.

تعين كمية المياه المضافة للهواء خلال عملية الترطيب بالمعادلة:

$$m_w = m_a\,(H_2 - H_1) \quad (kg / s)$$

حيث:

m_a معدل سريان الهواء (kg / s)

H - نسبة رطوبة الهواء (kg / kg).

تعرف كفاية المرطب (Humidifier efficiency) بنسبة الزيادة الحقيقية في رطوبة الهواء إلى الزيادة المثالية عندما يكون الهواء الخارجي من الوحدة مشبعاً (نقطة 2) في شكل (3-5أ).

بالإشارة إلى شكل (3-5 أ) معادلة كفاية المرطب هي:

$$\eta_H = (H_3 - H_1) / (H_2 - H_1) = (t_3 - t_1) / (t_2 - t_1)$$

يستخدم الترطيب الادياباتي في التكييف الصناعي بصورة أكبر من استخدامه في التكييف للراحة.

شكل (3-6)

يوضح شكل (3-6) مكونات المبرد الادياباتي (Adiabatic cooler) الذي يستخدم بكثرة في الأماكن الصحراوية الجافة، حيث يتطلب خفض درجة حرارة الهواء وزيادة رطوبته في نفس الوقت.

تعمل المروحة على سحب الهواء خلال فتل الخشب المبلل بالماء وتدفعه إلى المكان المراد تبريه وترطيبه. يعمل صمام تعويض المياه على ثبات مستوى المياه في الجهاز وتعمل مضخة المياه على سحب المياه من قاع الجهاز وإلقائها على فتل الخشب.

5-3 عملية تسخين وترطيب (Heating and humidification process)

تستلزم عملية التسخين والترطيب مرور الهواء خلال ملف تسخين (Heating coil) ووحدة رش مياه (Air washer) أو مرطب بخاري (Steam humidifier).

شكل (3-7)

معادلة الاتزان الحراري لنظام التسخين والترطيب الموضح في شكل (3-7) هي:

$$m_a i_1 Q + m_w i_w = m_a i_2$$

ومعادلة اتزان الكتلة لبخار الماء:

$$m_a H_1 + m_w = m_a H_2$$

من المعادلتين السابقتين يتبع أن:

$$(i_2 - i_1) / (H_2 - H_1) = Q/m_w + i_w = \text{Constant}$$

أي أن عملية التسخين والترطيب تمثل بخط مستقيم بين الحالتين الابتدائية والنهائية.

توضح الأمثلة التالية عمليات التسخين والترطيب.

في النظام الموضح في شكل (3-8)، ينتزع الماء الحرارة من ملف التسخين. يعمل رش الماء الساخن في تيار الهواء على تسخينه وزيادة رطوبته في نفس الوقت. يمثل الخط (12) في شكل (3-8 أ)عملية التسخين والترطيب.

شكل (3-8)

شكل (3-9)

يوضح شكل (3-9) عملية تسخين وترطيب الهواء. عند مرور الهواء خلال كل من السخان المقدم (Preheater) والسخان المتأخر (Reheater) تزداد درجة حرارة الهواء بينما أثناء مرور الهواء خلال المرطب (Humidifier) تزداد رطوبة الهواء وتقل درجة حرارته.

في شكل (3-9ب) عمليتا التسخين هما (13) و (42) وعملية الترطيب هي (34).

في حالة الترطيب الغير متكامل، تكون عمليتا التسخين، كما هو موضح في شكل (3-9 أ)، هما (13) و (42) وعملية الترطيب (34).

شكل (3-10)

يمكن الحصول على الحالة النهائية (2)، كما هو موضح في شكل (3-10)، بأجراء عملية التسخين (13) وعملية الترطيب (32).

نظام التسخين والترطيب المعطى في شكل (3-10) ارخص من النظام المعطى في شكل (3-9) لاحتوائه على سخان هواء واحد ومع ذلك يفضل استخدام سخانين مع المرطب ليسهل التحكم الاتوماتيكي في درجة حرارة الهواء ورطوبته النسبية.

يوضح شكل (3-11) نظام ترطيب وتسخين للهواء يستخدم البخار. تعمل وحدة الترطيب على زيادة درجة حرارة الهواء والتحكم فيطوبته بينما يعمل ملف التسخين على التحكم في درجة حرارة الهواء.

تعين كمية البخار المضافة خلال عملية الترطيب بالمعادلة:

$$m_s = m_a (H_2 - H_1) \qquad kg/s$$

وتعين سعة ملف التسخين بالمعادلة:

$$H.C = m_a (i_2 - i_1) - m_s \qquad L K w$$

حيث:

m_a - معدل سريان الهواء، (kg/s)

L - الطاقة الكامنة للبخار، (kJ/kg)

يلاحظ أن الأماكن السكنية تحتاج شتاءاً إلى فرن لإضافة الحرارة المموسة (تسخين الهواء) وإلى حوض تبخير (Evaporation pan) لإضافة الحرارة الكامنة (ترطيب الهواء) تحتاج المنشآت الكبيرة مثل المكتب، المدارس، الفنادق، والمستشفيلى ملف تسخين لإضافة الحرارة المحسوسة ووحدة رش مياه Air Washer لتوفير الطاقة الكامنة وذلك للحفاظ على درجة الحرارة والرطوبة عند مستوى مريح لشاغلي المكان.

6-3 عملية تبريد وإزالة رطوبة (Cooling and dehumkdkfkcation process)

يوضح شكل (3-12) عملية تبريد وإزالة رطوبة للهواء باستخدام ملف تبريد (Cooling coil) يتوقف مسار العملية (12) في شكل (3-12 أ) على نوعية سطح ملف التبريد، درجة حرارة سطحة وحالة سريان المائع (ماء مثلج أو فريون) خلال أنابيب ملف التبريد.

معادلة الاتزان الحراري للهواء خلال ملف التبريد هي:

$$m_a i_1 = Q + m_a i_2 + m_w i_w$$

ومعادلة اتزان الكتلة لبخار الماء هي:

$$m_a H_1 = m_w + m_a H_2$$

حيث:

m_a - معدل سريان الهواء خلال الملف.

M_w - معدل تكثف بخار الماء على سطح ملف التبريد.

I_1, i_2 - انثالبيا الهواء النهائية والابتدائية

i_w - انثالبيا ماء التصفية المتكثفة على الملف

H_1, H_2 - نسبة رطوبة الهواء النهائية والابتدائية

من المعادلات السابقة، الحرارة المسحوبة من الهواء خلال ملف التبريد هي:

$$Q = m_a (i_1 - i_2) - m_a (H_1 - H_2) i_w$$

وبالتقريب سعة ملف التبريد هي:

$$C.C = m_a (i_1 - i_2)$$

عملية تبريد الهواء وإزالة رطوبته (12)، في شكل (3-12 أ)، يمكن تمثيلها بالعمليتين:
(13) الراسية وخلالقل رطوبة الهواء فقط و (32) الأفقية وخلالها تقل درجة حرارة الهواء فقط.

شكل (3-13 أ)

في شكل 3-13 أ:
نقطة (1) عبارة عن الحالة الابتدائية للهواء.
نقطة (2) عبارة عن الحالة النهائية للهواء.
نقطة (S) عبارة عن درجة حرارة سطح ملف التبريد.
ونقطة (d.p1) عبارة عن نقطة الندى للحالة الابتدائية.

عند مرور الهواء خلال ملف التبريد، إذا كانت درجة حرارة سطح ملف التبريد (t_s) أقل من درجة الندى المناظرة لحالة الهواء الابتدائية فإنه يتم خلال الملف خفض كل من درجة حرارة الهواء ونسبة رطوبته. أي أنه لإزالة رطوبة الهواء يلزم أن تكون درجة حرارة سطح ملف التبريد وبالتالي درجة حرارة المائع المار خلال أنابيب الملف أقل من درجة الندى للحالة الابتدائية للهواء.

توضح الأنظمة التالية إمكانية إجراء عملية التبريد وإزالة الرطوبة باستخدام وحدة رش مياه مثلجة (Chilled water system).

شكل (3-14)

النظام الموضح في شكل (3-14) يعمل على تبريد الماء خلال وحدة تثليج المياه (Water chiller) قبل رشه في اتجاه سريان الهواء. إذا كانت درجة حرارة الماء المرشوش أقل من درجة الندى للحالة الابتدائية المرشوشة وبالتالي تنتزع المياه المرشوشة الحرارة والرطوبة من الهواء في نفس اللحظة.

شكل (3-15)

النظام الموضح في شكل (3-15) مماثل للنظام السابق في الأداء. الخلاف الوحيد هو تواجد مبخر وحدة التبريد داخل حوض المياه.

3-7 درجة الندى للجهاز (Apparatus dew point)

يتكون ملف التبريد المستخدم لتبريد الهواء وإزالة رطوبته من مجموعة من الأنابيب المجهزة بزعانف (Fins) الأنابيب مرتبة في صفوف وعند زيادة عددها تقترب درجة حرارة الهواء النهائية من درجة حرارة السطحي لملف التبريد. مع زيادة مساحة السطح ي للملف بحيث تكون درجة حرارة الهواء مساوية لدرجة حرارة سطح الملف فإن الهواء يصبح مشبعاً ببخار الماء وتكون درجة حرارته مساوية لدرجة الندى.

وحيث أن ملف التبريد يتواجد داخل جهاز التكييف فإن درجة حرارة السطح الخارجي للملف تعرف بدرجة الندى للجهاز.

3-8 الهواء المار جانبياً (By – pass air)

شكل (3-16)

يلاحظ أن الرطوبة النسبية النهائية للهواء في حالة التبريد وإزالة الرطوبة، نقطة (2) في شكل (3-13) تكون دائماً في حدود 90 إلى 94% وذلك لأن جزء من الهواء أثناء مروره لا يلامس سطح ملف التبريد أو قطرات المياه المثلجة المرشوشة كما هو موضح في شكل (3-16). الهواء الذي يسري خلال ملف التبريد ولا يلامس سطحه يعرف بالهواء المار جانبياً. تتوقف كمية الهواء التي تمر جانبياً على تصميم الملف وعلى سرعة الهواء خلاله. تزداد كمية الهواء المار جانبياً مع خفض عدد الزعانف لكل بوصة طولية للأنابيب ومع زيادة سرعة الهواء خلال الملف. تقدر قيمة الأمرار الجانبي للهواء بدلالة معامل المرار الجانبي.

بالإشارة إلى شكل (3-13) معادلة معامل الارمر الجانبي هي:

$$\text{By-Pass factor} = (T_2 - T_s) / (T_1 - T_s)$$

حيث t_1 و t_2 عبارة عن درجة حرارة الهواء الجافة قبل وبعد الملف على التوالي.

T_1 عبارة عن درجة الندى لسطح ملف التبريد.

تتراوح قيمة معامل الامرار الجانبي لملفات التبريد بين 0.01 و 0.03

3-9 معامل الحرارة المحسوسة (Sensible heat factor)

يمكن تصنيف الحرارة إلى:

أ - حرارة محسوسة (Sensible heat)

وهي الحرارة التي تعمل على زيادة أو خفض درجة حرارة الهواء بدون تغيير نسبة رطوبته. تغير الحرارة يمثل في خريطة السيكرومتري بخط أفقي.

ب - حرارة كامنة (Latent heat)

شكل (3-17)

وهي الحرارة اللازمة لتحويل الماء إلى بخار أو بالعكس بدون تغير في درجة حرارة الهواء. يمثل تغير الحرارة الكامنة في خريطة السيكومتري بخط رأسي.

عمليتي التبريد وإزالة الرطوبة يمثلا بالخط (12) في شكل (3-17) وذلك لأنهما يتما في نفس الوقت.

يعرف الخط (12) بخط معامل الحرارة المحسوسة ويرمز له بالرمز SHF. ميل هذا الخط متغير ويتوقف على النسبة بين كمية الحرارة المحسوسة Q_s والمجموع الجبري للحرارة المحسوسة والحرارة الكامنة Q_L بالإشارة إلى شكل (3-17).

$$Q_L = i_1 - i_3 , \qquad Q_S = i_3 - i_2$$

يعرف المجموع الجبري للحرارة المحسوسة والحرارة الكامنة بالحرارة الكلية ومعادلتها:

$$Q_T = Q_S + Q_L = i_1 - i_2$$

معادلة معامل الحرارة المحسوسة هي:

$$SHF = Q_S/Q_T = (i_3 - i_2) / (i_1 - i_2) = \tan \alpha$$

أي أن معامل الحرارة المحسوسة يساوي ظل الزاوية (α) في خريطة السيكرومتري.

لو كانت الحرارة الكامنة مساوية للصفر SHF = 1

ولو كانت الحرارة المحسوسة مساوية للصفر SHF = 0

أي أن: $0 < SHF < I$

في خريطة السيكرومتري (ملحق –3) لرسم خط معامل الحرارة المحسوسة نصل قيمة المعامل بنقطة الأصل للسوداء (24م جافة و 50% رطوبة نسبية) ونرسم خط مواز له.

في معظم حالات الراحة (Comfort conditions) معامل الحرارة المحسوسة أكبر من 0.5 للأماكن السكنية SHF = 0.8 وللمطاعم SHF = 0.6

3-10 عملية الخط (Mixing process)

يتكون هواء التغذية، في أغلب وحدات التكييف، من هواء راجع (Return) من الأماكن المكيفة وهواء نقي (Fresh) لزوم التهوية، يمكن تعين خواص مخلوط الهواء الراجع والهواء النقي بواسطة خريطة السيكرومتري.

شكل (3-18)

يوضح شكل (3-18) عملية خط الهواء. تياران من الهواء: أحدهما ساخن كتلته (m_1) وخواصه (H_1 , i_1) والآخر بارد كتلته (m_2) وخواصه (H_2 , i_2). يخلطا وينتج مخلوط هواء خواصه (H_3 , i_3).

بتطبيق قانون حفظ الكتلة لبخار الماء:

$$m_1 H_1 + m_2 H_2 = m_3 H_3 \qquad (1)$$

وللهواء الجاف:

$$m_1 + m_2 = m_3 \qquad (2)$$

وبتطبيق قانون حفظ الطاقة للهواء:

$$m_1 i_1 + m_2 i_2 = m_3 i_3 \qquad (3)$$

من المعادلتين (1) و (2) يتبع أن:

$$m_1 / m_2 = (H_3 - H_2) / (H_1 - H_3) \qquad (4)$$

ومن المعادلتين (2) و (3) يتبع أن:

$$m_1 / m_2 = (i_3 - i_2) / (i_1 - i_3) \qquad (5)$$

ومن المعادلتين (4) و (5):

$$m_1/m_2 = (H_3 - H_2) / (H_1 - H_3)$$
$$= (i_3 - i_2) / (i_1 - i_3)$$

و

$$(i_2 - i_1) / (H_2 - H_1) = (i_3 - i_2) / (H_3 - H_2)$$

المعادلة الأخيرة تعبر عادلة الخط المستقيم (132) وينتج عن ذلك أن نقطة الخلط (3)في شكل (3-18 أ)، تقع على الخط الواصل بين النقطتين (1) و (2) وتقسم الخط (12) داخلياً بالنسبة العكسية لكتلتي الهواء m1 و m2.

أي أن:

$$m_1/ m_2 = \text{distance (23)} / \text{distance (13)}$$

3-11 إزالة الرطوبة كيمائياً (Chemical dehumidifidcation)

تتم عملية إزالة الرطوبة بتمرير الهواء على مواد كيميائية صلبة أو سائلة تقوم نتيجة اختلاف الضغط الجزئي لبخار الماء بامتصاص الرطوبة من الهواء فتقل نسبة رطوبته وترتفع درجة حرارته نتيجة التفاعل الكيميائي والحرارة الكامنة الناتجة عن تكثيف بخار الماء.

شكل (3-19)

تمثل عملية ثبات درجة الحرارة الرطبة (12) في شكل (3-19) عملية إزالة الرطوبة كيميائياً، التي تستخدم بكثرة في العمليات الصناعية التي تتطلب:

أ ـ درجة ندى أقل من درجة الصفر المئوي.

ب ـ نسبة رطوبة منخفضة

جـ ـ معامل حرارة محسوس صغير.

المحاليل السائلة المستخدمة في عمليات إزالة الرطوبة كيميائياً هي: بروميد الليثيوم، كلوريد الليثيوم وجليكول الاثيلين (Ethylene glycool)

المواد الصلبة المستخدمة في إزالة الرطوبة كيميائياً هي: سيليكا جل Silica get أكسيد الألمونيوم المنشط Activated alumine وفحم نباتي منشط Activated charcoal

12-3 مسائل (Problems)

1- يسخن هواء من الحالة 5°م جافة و 0°م رطبة إلى 27°م جافة بدون إضافة مياه.

عين باستخدام خريطة السيكرومتري:

أ ـ الرطوبة النسبية للحالة الأصلية.

ب ـ درجة الندى الأصلية.

جـ ـ الحرارة المضافة لكيلو جرام واحد من الهواء.

2- هواء مشبع عند 5°م، يسخن أولاً وبعد ذلك يشبع ادياباتيا ثم يعاد تسخينه للحالة النهائية 40°م جافة و 30% رطوبة نسبية.

3- يدخل هواء رطب ملف تبريد بمعدل 500 لتر / ثانية. إذا كانت حالة الهواء الأصلية 32°م و 18°م رطبة. درجة حرارة سطح الملف 5°م وسعة ملف التبريد المتاحة 3.5 طن تبريد.

عين درجة الحرارة الجافة للهواء تارك الملف ومعدل الرطوبة المزالة من الهواء.

4- غرفة حالة هوائها 24°م جافة و 50% رطوبة نسبية، وفي نفس اللحظة حالة الهواء الخارجي 4°م جافة و 50% رطوبة نسبية. يبرد الهواء الراجع من الغرفة وتزال رطوبته عندئه مع هواء التهوية الخارجي. إذا كان سريان الهواء الكلي للغرفة عبارة عن 60% هواء خارجي و 40% هواء راجع بالكتلة.

عين درجة الحرارة الجافة ونسبة الرطوبة لمخلوط الهواء المتجه للغرفة.

5- برج التبريد عبارة عن وحدة تعمل على تبريد المياه عند سريانها خلال تيار هوائي. إذا كان الهواء يدخل البرج بمعدل 15 متر مكعب / ثانية وحالته 35°م جافة و 24°م رطبة ويخرج من البرج مشبع عند 31°م. تدخل المياه البرج ودرجة حرارتها 38°م ومعدل سريانها 20 كيلو جرام / ثانية.

عين: أ ـ درجة الحرارة النهائية للمياه.

ب ـ معدل إضافة ماء التعويض للبرج.

6- نظام تكييف هواء يخلط 940لتر / ثانية هواء خارجي حالته 32°م جافة و23°م رطبة مع 2850 لتر / ثانية هواء راجع حالته 24°م جافة و 50% رطوبة نسبية. يمر المخلوط خلال ملف تبريد ويتئه ورطوبته النسبية 90% إذا كان معامل الحرارة المحسوسة للغرفة 0.67

عين: أ ـ درجة الندى لملف التبريد

ب ـ درجة الندى للهواء

جـ ـ درجة حرارة الهواء الخارج من الملف.

د ـ السعة التبريدية لملف التبريد

7ـ حيز في مبنى صناعي له فاقد الحرارة المحسوسة شتاءاً 200.000 كيلو جول /ساعة والحمل الحراري الكامن مهمل (الفواقد الكامنة الخارجة تعوضها الحرارة الكامنة المتولدة داخل الحيز). الحالة الداخلية للحيز24°م جافة و 50% رطوبة نسبية. نظراً لطبيعة العمليات داخل الحيز المكيف يتطلب هواء خارجي 100%. 3.5 متر مكعب/ثانية من الهواء الخارجي المشبع عند4°م يتم تسخينهم خلال ملف تسخين متقدم ثم ترطيبهم بواسطة مشبع ادياباتي إلى الرطوبة المطلوبة. بعد ذلك يعاد تسخين الهواء. إذا كانت درجة حرارة الهواء بعد المشبع الادياباتي15°م.

عين: أ ـ معدل تبادل الحرارة خلال ملف التسخين المتقدم.

ب ـ معدل تبادل الحرارة خلال ملف إعادة التسخين.

جـ ـ معدل الترطيب خلال المشبع الادياباتي.

8ـ غرفة حملها المحسوس 5.5 كيلو وات وحالة الهواء بداخلها24°م جافة و 50% رطوبة نسبية يخلط هواء خارجي حالته35°م و 27°م رطبة مع هواء الغرفة الراجع بنسبة 3:1 بالكتلة. يبرد المخلوط وتزال رطوبته خلال ملف تبريد بحيث يكون الهواء تارك الملف مشبع عند10°م وعلى خط الحالة للغرفة. إذا تم خلط الهواء تارك الملف مع جزء من هواء الغرفة الراجع بحيث تصبح درجة تغذية الهواء للغرفة15°م.

عين: أ ـ معدل سريان الهواء.

ب ـ النسبة المئوية بالكتلة للهواء الراجع من الغرفة والمختلط مع الهواء التارك لملف التبريد.

جـ ـ نسبة حمل الغرفة الكامن إلى حملها المحسوس. سعة ملف التبريد

9ـ مكيف هواء يناول 1 متر مكعب /ثانية عند الحالة الابتدائية10°م جافة و 50% رطوبة نسبية. يتم تسخين الهواء بواسطة مبادل حراري، مجهز بزعانف مساحة سطحه الناقل للحرارة 7.25 متر مربع والقيمة (UA) له 420 وات/م يشتمل المكيف على وحدة رش بخار مشبع عند 108 كيلة بسكال تعمل على زيادة رطوبة الهواء. يترك الهواء المكيف وحالته38°م جافة و 50% رطوبة نسبية.

عين: أ ـ معدل سريان كتلة الهواء.

ب ـ معدل سريان البخار.

جـ ـ كمية الحرارة المضافة للهواء خلال الملف.

د ـ معامل انتقال الحرارة الكلي للمبادل الحراري.

10ـ نظام تكييف صيفي يدفع 950 لتر / ثانية من الهواء الخارجي خلال ملف التبريد. إذا كانت حالة الهواء الخارجي35°م جافة و 25°م رطبة وحالة الهواء الداخلية27°م جافة و 45% رطوبة نسبية. معامل الحرارة المحسوسة 0.72 والرطوبة النسبية للهواء تارك الملف 90%.

عين: أ ـ درجة الندى للجهاز

ب ـ السعة التبريدية لملف التبريد

جـ ـ كمية الرطوبة المتكثفة على الملف في الساعة.