

الباب العاشر

HUMID AIR **الهواء الرطب**

خواص الهواء الرطب

يحتوى الهواء الجوى على كمية من الرطوبة تختلف باختلاف درجة الهواء ومدى تعرضه للاسطح الباردة . فالهواء له خاصية حمل بخار الماء معه وتزداد هذه الخاصية كلما ارتفعت درجة حرارته ولكن عند درجة حرارة معينة نجد ان الهواء يستطيع حمل بخار الماء معه الى ان تصل كمية البخار الى حد معين لا يستطيع بعدها ان يحمل الهواء مزيدا منه وهذه الحالة يطلق عليها حالة التشبع Saturation اي ان تركيز البخار قد وصل الى تركيز التشبع . فاذا ارتفعت درجة حرارة الهواء نجد ان قابليته على حمل البخار تزداد فيصبح تركيز البخار اقل بكثير من تركيز التشبع مما يتيح للهواء فرصة حمل مزيدا من البخار معه الى ان يصل الى تركيز التشبع . ولكن اذا انخفضت درجة حرارة الهواء نجد ان قابليته على حمل بخار الماء تقل وبالتالي تزداد كمية البخار به عن تركيز التشبع فيبدأ بخار الماء فى التكثف عند اللحظة التى تصل فيها درجة حرارته الى الدرجة التى يكون فيها تركيز التشبع معادل لكمية بخار الماء الموجود بالهواء وهذه الدرجة تعرف بنقطة الندى Dew Point .

ولكى نستخدم الهواء الرطب فى عمليات التصنيع المختلفه نبدأ بالتعاريف الآتية :

الرطوبة المطلقة : Absolute Humidity

هى نسبة وزن الرطوبة (الماء) العالقه فى الهواء الرطب الى وزن الهواء الجاف ، وتستخدم عادة وحدة وزنية من الهواء الجاف(رطل او كيلو جرام) كأساس لهذه النسبه حيث انها ثابتة لا تتغير بتغير حالة الهواء ، وعلى ذلك تكون وحدات الرطوبة المطلقة : رطل رطوبة/رطل هواء جاف بالوحدات الانجليزية او كجم رطوبة/كجم هواء جاف بالوحدات المتريه . وحيث ان وزن الرطوبة فى كل وحدة وزنيه للهواء الجاف تكون صغيرة الى حد ما وحتى يمكن حساب الرطوبة المطلقة من الجداول او الخرائط تستخدم عادة وحدات الجرين فى حساب كمية الرطوبة بدلا من الرطل فى الوحدات الانجليزية والرطل يساوى ٧.٠٠ جرين وعلى ذلك نجد ان جميع بيانات الرطوبة المطلقة يعبر عنها بوحدات جرين/رطل هواء جاف فى الخرائط بالوحدات الانجليزية اما بالنسبه للخرائط بالوحدات المتريه أو الوحدات الدوليه فيتم التعبير عنها بوحدات كيلوجرام رطوبة لكل كيلوجرام هواء جاف.

الرطوبة النسبية : Relative Humidity

وهى نسبة ضغط بخار الماء الموجود فى الهواء الرطب عند درجة حرارة معينة الى ضغط بخار الماء لو كان الهواء الرطب مشبعاً عند نفس درجة الحرارة .

او نسبة تركيز بخار الماء بالهواء عند درجة حرارة معينة الى تركيز التشبع لبخار الماء عند نفس درجة الحرارة .

درجة الحرارة الجافة : Dry Bulb Temperature (D.B.T).

هى درجة حرارة الهواء العاديه التى تقاس بترمومتر عادى.

درجة الحرارة الرطبة : Wet Bulb Temperature (W.B.T).

هى درجة حرارة الهواء الناتجة عن قدرة تبخيره للماء ، وتعتمد على مقدار تشبعه ببخار الماء . ويمكن قياسها بوضع الترمومتر ذو القطن المبلل امام تيار من الهواء وتكون درجة الحرارة فى هذه الحالة هى درجة الحرارة الرطبة . ومرور الهواء المحمل ببخار الماء على مستودع الترمومتر يسبب تبخر الماء الموجود بالقطن المبلل ينتج عنه انخفاض فى درجة حرارة الماء نتيجة لتبخره ، فتكون دائماً درجة الحرارة الرطبة للهواء اقل من درجة حرارته الجافة وتساويها فى حالة واحده عندما يصل تركيز بخار الماء الى تركيز التشبع فى الهواء .

ويوجد عادة جهاز خاص يثبت به ترمومتران ، احدهما يغطى مستودعه بقطعه قطن مبلله لقياس درجة الحرارة الرطبة ، والاخر عادى لقياس درجة الحرارة الجافة . ويتصل هذا الجهاز بذراع يمكن بواسطتها تحريك الترمومتران بسرعه مناسبه وذلك عند استخدامها فى غرف او انفاق ذات هواء ساكن ويسمى هذا الجهاز Sling Psychrometer .

حجم الهواء الرطب : Humid Volume

ويمكن حسابه بدون خطأ يذكر لمجموع احجام وحدة وزنيه واحدة من الهواء الجاف وحجم بخار الماء (الرطوبة) الموجود فى الهواء الرطب .

كمية الحرارة الكلية للهواء الرطب : Total Humid Heat

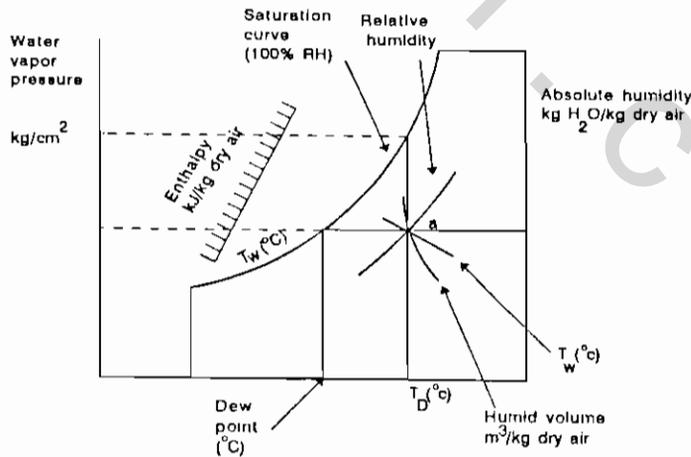
وهي عبارة عن مجموع كمية الحرارة الموجودة في وحدة وزنيه واحدة من الهواء الجاف عند درجة حرارة معينه وكمية الحرارة الكامنه Latent heat لبخار الماء الموجود في الهواء الرطب عند نفس درجة الحرارة .

وجميع هذه الخواص مبينه على الخريطه السيكرومتريه Psychrometric Chart في صوره خاصه يمكن بها حساب كمية الرطوبه مثلا الموجودة في وحدات التصنيع المختلفه (مثل المجففات او غرف التخزين بالتبريد) ويمكن الاستعانه بهذه الخريطه لتحديد حالة الهواء الرطب داخل وحدات التصنيع اذا عرفت خاصيتين من خواص هذا الهواء .

وعادة تستخدم درجتى الحرارة الجافه والرطبه لتحديد حالة الهواء وذلك لسهولة قياسها .

طريقة استخدام الخريطة السيكرومتريه :

لنفرض اننا استخدمنا جهاز Sling Psychrometer في قياس درجات حرارة هواء غرفة تخزين بالتبريد مثلا . وكانت درجة الحرارة الجافه لهواء الغرفة 20°C ودرجة الحرارة الرطبه للهواء 15°C ، فانه يمكن تحديد حالة الهواء داخل غرفه التخزين على الخريطة السيكرومتريه بالنقطة "a" في الشكل (١-١٠) :



شكل (١-١٠) الخريطة السيكرومتريه

وهي عبارته عن تقاطع الخط الرأسى الممثل لدرجة الحرارة الجافه مع الخط المائل الذى يمثل درجة الحرارة الرطبه ، وعلى ذلك يمكننا قراءة الخواص الاخرى لحالة الهواء الرطب الممثل بالنقطه "a" ونجدها كالاتى :

$$\begin{aligned} \text{الرطوبة المطلقة} &= 0.087 \text{ ر. كجم رطوبة/كجم هواء جاف} \\ \text{كمية الحرارة الكلية} &= 42 \text{ كيلو جول/كجم هواء جاف} \end{aligned}$$

ونلاحظ ان الخط الدال على كمية الحرارة ينطبق تقريبا مع الخط المائل الذى يمثل درجة الحرارة الرطبه ، فاذا امتد هذا الخط حتى يتقاطع مع مقياس كمية الحرارة الكلية يمكن قراءتها مباشرة من هذا المقياس .

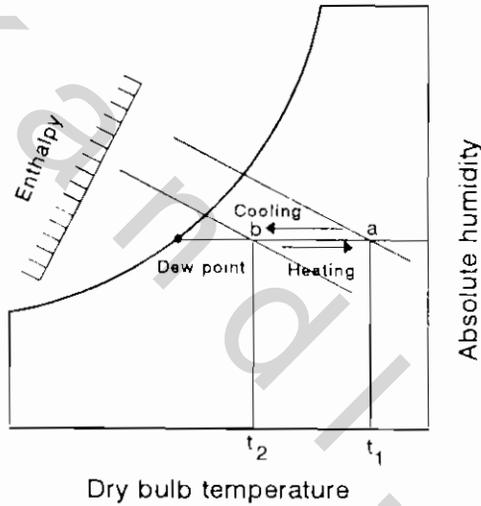
ويمكن الحصول على نقطة الندى لحالة الهواء المذكور وذلك بمد الخط الافقى الذى يمر بالنقطه "a" حتى يقطع منحنى التشبع ، ونجد انها تكون 12°م .

$$\begin{aligned} \text{الحجم الرطب} &= 0.84 \text{ متر مكعب/كجم هواء رطب} \\ \text{الرطوبة النسبية} &= 60\% \end{aligned}$$

العمليات المختلفة التى قد تحدث للهواء
اثناء اجراءات التصنيع

أولاً : التبريد والتسخين :

يمكن تمثيل التبريد والتسخين الذى قد يحدث فى هواء غرفة تخزين مثلاً ،
محكمة الغلق وبدون تغيير فى كمية الرطوبة داخلها بخط افقى مستقيم على الخريطة
السيكرومترية من حالة الهواء "a" الى حاله "b" كما هو مبين فى الشكل (٢-١٠) :

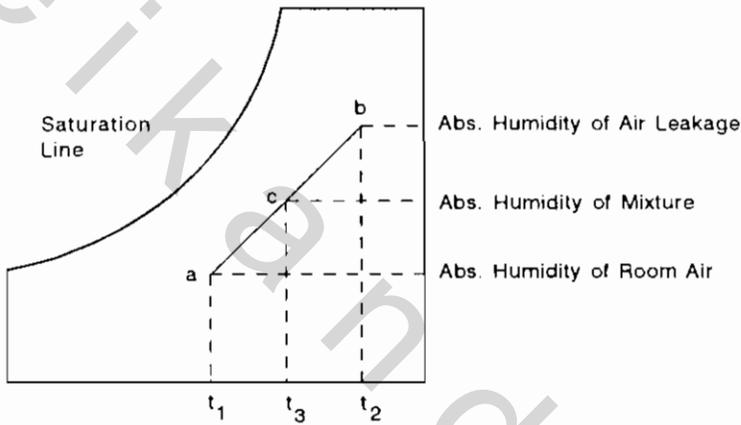


شكل (٢-١٠) تمثيل اجراء التسخين والتبريد على الخريطة السيكرومترية

وتكون كمية الحرارة المزالة (تبريد) او المكتسبه (تسخين) تساوى الفرق بين كمية
الحرارة الكلية فى الحالتين "a" ، "b" وفى حالة تبريد هواء الغرفة يجب مراعاة عدم
خفض درجة حرارتها عن درجة حرارة الانابيب المبخر والا قد يحدث تكثيف لرطوبة
الهواء على الانابيب او بعبارة اخرى يجب عدم خفض درجة حرارة هواء غرفة التخزين
عن درجة حرارة نقطة الندى كما هو مبين فى الشكل السابق .

ثانيا : خلط الهواء :

عادة مايتسرب هواء من خارج غرفة التخزين الى داخلها عن طريق عدم احكام غلق باب الغرفة او نتيجة فتح الباب لتحميل الغرفة او تفريغها ، وبذلك تختلط كمية من الهواء الخارجى مع هواء الغرفة ويتسبب عن ذلك تغير فى الرطوبه المطلقه ودرجة حرارة هواء الغرفة . نفرض ان حالة كمية الهواء الداخلى تمثلها النقطة "a" على الخريطة السيكرومتريه كما هو مبين فى الشكل (١٠-٣) :



شكل (١٠-٣) تمثيل خلط الهواء الرطب على الخريطة السيكرومتريه

النقطة "b" تمثل حالة الهواء المتسرب الى داخل الغرفة ، فتحدث عملية الخلط على الخط الذى يصل بين النقطتين "a" ، "b" وحتى تسهل طريقة الحسابات ، نعتبر ان هذا الخط يكون مستقيما تقريبا بدون خطأ يذكر .

ولتحديد حالة الهواء الجديده بعد الخلط نأخذ فى الاعتبار مايتأتى :

- ١- وزن الهواء المخلوط يساوى مجموع اوزان الهواء المتسرب الى الغرفة وهواء الغرفة .
- ٢- كمية الرطوبه فى الهواء المخلوط تساوى مجموع كمية الرطوبه فى الهواء داخل الغرفة وكمية الرطوبه فى الهواء المتسرب .

أى ان :

$$\begin{aligned} \text{وزن الهواء المخلوط} &= \text{وزن هواء الغرفة} + \text{وزن الهواء المتسرب.} \\ \text{وزن الهواء المخلوط} \times \text{رطوبته المطلقة} &= \text{وزن هواء الغرفة} \times \text{رطوبته المطلقة} \\ &+ \text{وزن الهواء المتسرب} \times \text{رطوبته المطلقة.} \end{aligned}$$

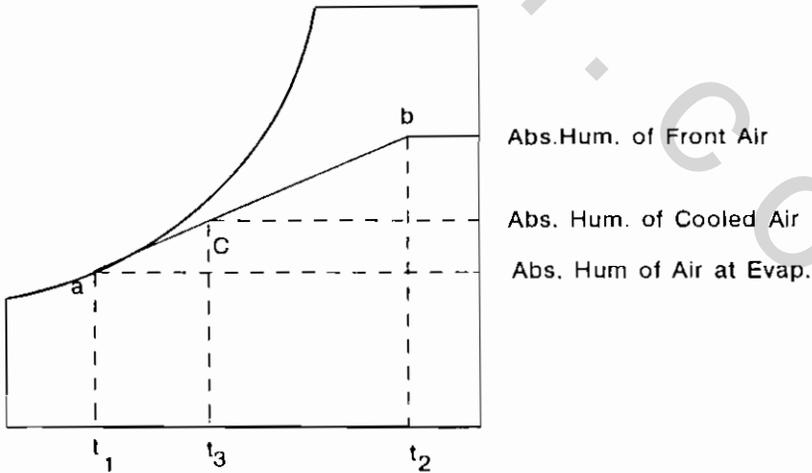
ومن المعادلتين السابقتين نجد أن :

$$\text{الرطوبة المطلقة للهواء المخلوط} =$$

$$\frac{\text{وزن هواء الغرفة} \times \text{رطوبته المطلقة} + \text{وزن الهواء المتسرب} \times \text{رطوبته المطلقة}}{\text{وزن هواء الغرفة} + \text{وزن الهواء المتسرب}}$$

وبذلك يمكننا حساب الرطوبة المطلقة للهواء المخلوط ونرسم عندها خط أفقى مستقيم نمده الى ان يقطع الخط "a b" فى النقطة "c" وبذلك تتحدد درجة حرارة هواء الغرفة بعد عملية الخلط كما هو موضح فى الشكل السابق .

ثالثا : التبريد والترطيب :



شكل (١٠-٤) تمثيل التبريد والترطيب على الخريطة السيكرومترية

تشبه هذه العملية الي حد كبير عملية خلط الهواء ، فعادة ماتزود غرف التخزين بمراوح لتقليب الهواء حتى تكون درجة حرارة الغرفة ثابتة . فاذا فرض ان t_2 هى درجة الحرارة الجافه للهواء الموجود امام مروحة التقليب عند بدء تشغيل وحدة التبريد، وأن درجة حرارة الهواء الملامس لانايبب المبخر تكون t_1 (نقطة الندى) وبذلك تقع درجة الحرارة الجافه للهواء المبرد على الخط المستقيم a b الواصل بين الحالتين وتمثلها (c) كما هو مبين فى الشكل (١٠-٤) .

أى انه يمكن القول ان جزء من هواء الغرفة يبرد ويصل الى درجة حرارة سطح مواسير المبخر t_1 والجزء الآخر يكون عند درجة الحرارة الجافه t_2 ونتيجة لخلط هذين الجزئين ببعضهما تصل درجة الحرارة الجافه لهواء الغرفة الى t_3 ، ونطبق عليها نفس خطوات الحسابات الخاصه بخلط الهواء التى سبق شرحها .

وتعرف درجة اداء عملية التبريد والترطيب على هذا النحو بما يسمى عامل التمرير By Pass Factor وتوجد قيمته كالاتى :

$$\text{By Pass factor} = \frac{t_3 - t_1}{t_2 - t_1} = \frac{30 - 20}{45 - 20} = \frac{10}{25} = 0.4 \quad (10-1)$$

عامل التمرير =

الرطوبة المطلقة للهواء المبرد - الرطوبة المطلقة للهواء الملامس لسطح المبخر
الرطوبة المطلقة للهواء امام المروحة - الرطوبة المطلقة للهواء الملامس لسطح المبخر

ويمثل عامل التمرير الجزء الذى مر من الهواء الملامس لسطح انايبب المبخر مع الهواء الموجود امام مروحة التقليب .