الباب العاشر

الهواء الرطب HUMID AIR

خواص الهواء الرطب

يحتوى الهواء الجوى على كمية من الرطوبه 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 لايستطيع بعدها ان يحمل الهواء مزيدا منه وهذه الحالة يطلق عليها حالة التشبع Saturation اى 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 وبالتالى تزداد كمية البخار به عن تركيز التشبع فيبدأ بخار الماء فى التكثف عند اللحظه التى تصل فيها درجة حرارته الى الدرجه 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 الآتيه :

الرطوبه المطلقه : 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 ثابته لاتتغير بتغير حالة الهواء ، وعلى ذلك تكون وحدات الرطوبه المطلقه : رطل رطوبه/رطل هواء جاف بالرحدات الانجليزية او كجم رطوبه/كجم هواء جاف بالوحدات المتريه . وحيث ان وزن الرطوبه فى كل وحدة وزنيه للهواء الجاف تكون صغيرة الى حد ما وحتى يمكن حساب الرطوبه المطلقه من الجداول او الخرائط تستخدم عادة وحدات الجرين فى حساب كمية الرطوبه بدلا من الرطل فى الوحدات الانجليزيه والرطل يساوى ٧٠٠٠ جرين وعلى ذلك نجد ان جميع بيانات الرطوبه المطلقه يعبر عنها بوحدات جرين/رطل هواء جاف فى الخرائط بالوحدات الانجليزيه اما بالنسبه للخرائط بالوحدات المتريه أو الوحدات الدوليه فيتم التعبير عنها بوحدات كيلوجرام رطوبه لكل كيلوجرام هواء جاف.

الرطوبه النسبيه : Relative Humidity

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

او نسبة تركيز بخار الماء بالهواء عند درجة حرارة معينه الى تركيز التشبع لبخار الماء عند نفس درجة الحراره .

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

هى درجة حرارة الهواء العاديه التى تقاس بترمومتر عادى.

درجة الحراره الرطبه : 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 الحراره الرطبه . ومرور الهواء المحمل ببخار الماء على مستودع الترمومتر يسبب تبخر الماء الموجود بالقطن المبلل ينتج عنه انخفاض فى درجة حرارة الماء نتيجة لتبخره ، فتكون دائما درجة الحرارة الرطبة للهواء اقل من درجة حرارته الجافه 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 الحراره الرطبه ، والآخر عادى لقياس درجة الحراره الجافه . 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 الحراره الكليه للهواء الرطب : Total Humid Heat

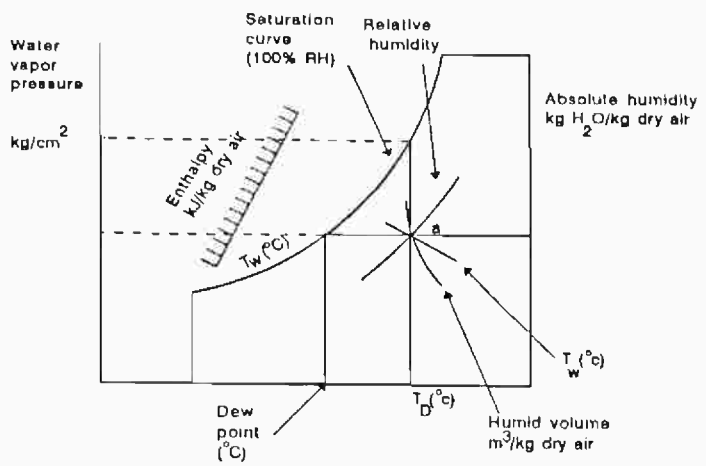
وهى عباره عن مجموع كمية الحراره الموجودة فى وحدة وزنيه واحدة من الهواء الجاف عند درجة حرارة معينه وكمية الحرارة الكامنه Latent heat لبخار الماء الموجود فى الهواء الرطب عند نفس درجة الحراره .

وجميع هذه الخواص مبينه على الخريطه السيكرومتريه Psychrometric Chart فى صوره خاصه يمكن بها حساب كمية الرطوبه مثلا الموجودة فى 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 فى قياس درجات حرارة هواء غرفة تخزين بالتبريد مثلا . وكانت درجة الحرارة الجافه لهواء الغرفه ٢٠°م ودرجة الحرارة الرطبه للهواء ١٥°م ، فانه يمكن تحديد حالة الهواء داخل غرفه التخزين على الخريطة السيكرومتريه بالنقطة " "a" فى الشكل (١٠-١) :



شكل (١٠-١) الخريطة السيكرومتريه

وهى عباره عن تقاطع الخط الرأسى الممثل لدرجة الحرارة الجافه مع الخط المائل الذى يمثل درجة الحراره الرطبه ، وعلى ذلك يمكننا قراءة الخواص الاخري لحالة الهواء الرطب الممثله بالنقطه " a" ونجدها كالآتى :

الرطوبه المطلقـــه = ٨٧٠٠ر٠ كجم رطوبه/كجم هواء جاف
كمية الحرارة الكليه = ٤٢ كيلو جول/كجم هواء جاف

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

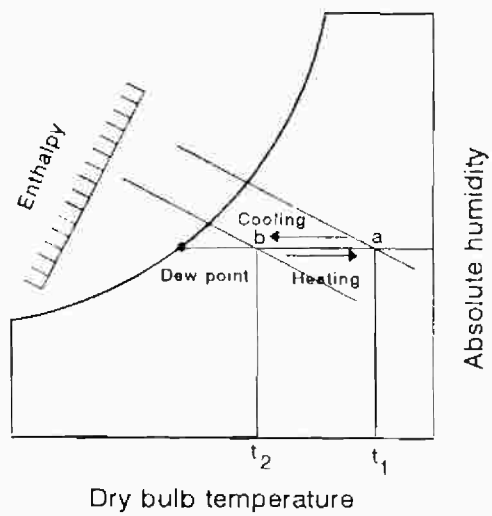
ويمكن الحصـول على نقطة الندى لحالة الهواء المذكور وذلك بمد الخط الافقى الذى يمر بالنقطه " a " حتى يقطع منحنى التشبع ، ونجد انها تكون ١٢°م.

الحجم الرطب = ٨٤ر٠ مترمكعب/كجم هواء رطب
الرطوبه النسبيه = ٦٠٪

العمليات المختلفه التى قد تحدث للهواء اثناء اجراءات التصنيع

أولا : التبريد والتسخين :

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

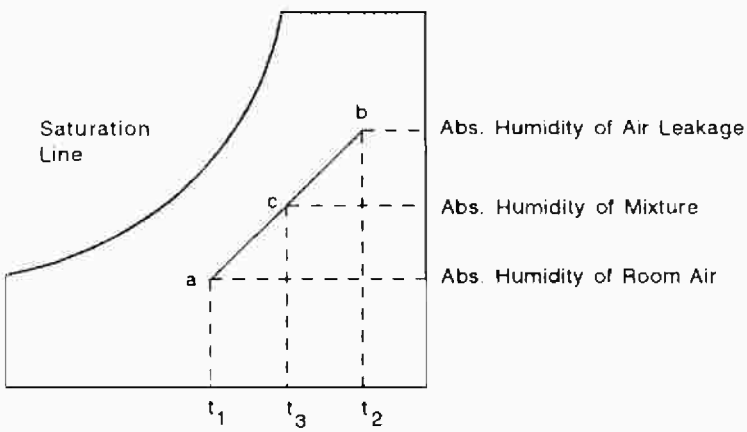


شكل (١٠-٢) تمثيل اجراء التسخين والتبريد على الخريطة السيكرومتريه

وتكون كمية الحرارة المزاله (تبريد) او المكتسبه (تسخين) تساوى الفرق بين كمية الحرارة الكليه فى الحالتين "a" , "b" وفى حالة تبريد هواء الغرفه يجب مراعاة عدم خفض درجة حرارتها عن درجة حرارة انابيب 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 الغرفه او نتيجة فتح الباب لتحميل الغرفه او تفريغها ، وبذلك تختلط كمية من الهواء الخارجى مع هواء الغرفه ويتسبب عن ذلك تغير فى الرطوبه المطلقه ودرجة حرارة هواء الغرفه . نفرض ان حالة كمية الهواء الداخلى تمثلها النقطه "a" على الخريطة السيكرومتريه كما هو مبين فى الشكل (١٠-٣) :



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

النقطه "b" تمثل حالة الهواء المتسرب الى داخل الغرفه ، 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 ناخذ فى الاعتبار مايأتى :

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

أى ان :

وزن الهواء المخلوط = وزن هواء الغرفه + وزن الهواء المتسرب.

وزن الهواء المخلوط × رطوبته المطلقه = وزن هواء الغرفه × رطوبته المطلقه + وزن الهواء المتسرب × رطوبته المطلقه.

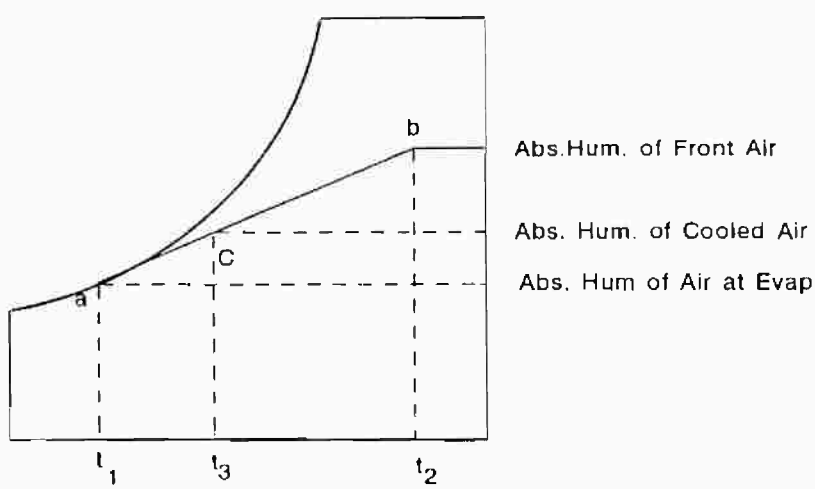
ومن المعادلتين السابقتين نجد أن :

الرطوبه المطلقه للهواء المخلوط =

$$\frac{\text{وزن هواء الغرفه} \times \text{رطوبته المطلقه} + \text{وزن الهواء المتسرب} \times \text{رطوبته المطلقه}}{\text{وزن هواء الغرفه} + \text{وزن الهواء المتسرب}}$$

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

ثالثا : التبريد والترطيب :



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

تشبه هذه العمليه الي حد كبير عملية خلط الهواء ، فعادة ماتزود غرف التخزين بمراوح لتقليب الهواء حتى تكون درجة حرارة الغرفه ثابته . فاذا فرض ان t_2 هى درجة الحراره الجافه للهواء الموجود امام مروحة التقليب عند بدء تشغيل وحدة التبريد، وأن درجة حرارة الهواء الملامس لانابيب المبخر تكون t_1 (نقطة الندى) وبذلك تقع درجة الحراره 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 الغرفه يبرد ويصل الى درجة حرارة سطح مواسير المبخر t_1 والجزء الآخر يكون عند درجة الحرارة الجافه t_2 ونتيجة لخلط هذين الجزءين ببعضهما تصل درجة الحرارة الجافه لهواء الغرفه 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 كالآتى :

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

عامل التمرير =

$$\frac{\text{الرطوبه المطلقه للهواء المبرد} - \text{الرطوبه المطلقه للهواء الملامس لسطح المبخر}}{\text{الرطوبه المطلقه للهواء امام المروحه} - \text{الرطوبه المطلقه للهواء الملامس لسطح المبخر}}$$

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