# الباب الرابع

## قياس الرطوبة

كثير من العمليات الصناعية تقتضى توفر نسبة معينة من الرطوبة فى الوسط الذى تتم فيه ، وإلا فإنها لا تتم على الوجه المرضى ، كما أن المنتجات المصنعة تحتاج ، عند تخزينها أو نقلها ، لقدر معين من الرطوبة ، وإلا فإنها قد تفسد ، وفيما يلى بعض الأمثلة التى توضح أهمية قياس الرطوبة والتحكم فيها سواء فى الصناعة أو فى عمليات النقل والتخزين .

**صناعة الغزل :**

تؤثر الرطوبة تأثيراً بالغاً على جميع خصائص الألياف الصناعية والطبيعية ، ففى ظل الجفاف أوانخفاض الرطوبة تصير الألياف هشة تصعب معالجتها فضلاً عن احتمال تولد شحنات كهربية استاتيكية مما قد يؤدى إلى احتراق الألياف وما حولها . ومن جهة أخرى فإن زيادة الرطوبة تؤدى إلى تعفن القطن ، وضعف بعض أنواع الأقمشة الاصطناعية ، وزيادة وزن الألياف ، وهذا يؤثر تأثيراً كبيراً فى ثمن سلعة تباع بالوزن .

**صناعة الورق :**

تلعب الرطوبة دوراً كبيراً فى صناعة الورق يشبه دورها فى صناعة الغزل ،

ولا يقتصر تأثير الرطوبة على الورق عند تصنيعه فقط ، بل إنه يمتد فى حالات كثيرة إلى استخداماته كما هو الحال عند طبع ألوان مختلفة على الورق .

**عمليات التجفيف :**

عدد كبير من عمليات التجفيف يعتمد بدرجة كبيرة على مقدار الرطوبة ، فالرطوبة العالية تؤخر التجفيف ، والرطوبة المنخفضة جدًا قد تجعل سطح المادة زائد الجفاف .

**حفظ المواد :**

يتم وقاية البضائع المنقولة بحراً من التلف الذى يسببه الماء المتكثف ، بالعمل على أن تظل نقطة الندى لهواء عنابر السفينة أقل من درجة حرارة البضائع ذاتها . وتتوقف نسبة الرطوبة فى الأماكن التى تحفظ فيها المنتجات على السفن ، على نوع المنتج المنقول . فعندما ينقل التفاح مثلاً فإنه يلزم تبريده فى جو ذى رطوبة عالية حتى لا يصيبه الذبول ، أما اللبن المجفف أو البيض فيلزم حفظه فى جو ذى رطوبة منخفضة جدًا حتى لا يفسد . وتقاس الرطوبة بتعيين وزن كمية بخار الماء فى وحدة الحجوم أو بمقارنة كمية بخار الماء الموجودة فعلا عند درجة حرارة معينة إلى أقصى كمية من بخار الماء يستطيع الهواء احتواءها عند نفس الدرجة ، وفى الحالة الأولى يشار إلى نتيجة القياس بالرطوبة المطلقة أما فى الحالة الثانية فيشار إليها بالرطوبة النسبية وهى المستخدمة فى معظم التطبيقات الصناعية ، ويعتمد قياسها على الفرق بين قراءتى ترمومترين أحدهما جاف والآخر مبلل أو على تمدد أو انكماش المواد المختلفة أو على درجة الحرارة التى يتكثف عندها بخار الماء أو على درجة الحرارة التى تكون عندها محاليل معينة فى حالة توازن .

### ٤ / ١ قياس الرطوبة النسبية :

تقاس الرطوبة النسبية بواسطة الهيجرومتر أو السيكرومتر ، والهيجرومتر وسيلة تستخدم التغير الفيزيائى أو الكيميائى لبعض المواد عند امتصاصها لبعض الرطوبة ، ومن المعلوم أن معظم الألياف العضوية والطبيعية وأنواع كثيرة من البلورات مثل كلوريد الكالسيوم ذات طبيعة « هيجروسكوبية » أى استرطابية تمتص الماء أو تعطيه للهواء المحيط بها حتى يحدث توازن بينهما . ونتيجة لتغير رطوبتها بما تكسبه أو تفقده من رطوبة فإن أطوالها تتغير ، وتتوقف درجة امتصاص المواد الهيجروسكوبية للرطوبة على كمية بخار الماء الموجودة فى الجو أى على الرطوبة النسبية .

ويوجد نوع من الهيجرومترات يسمى الهيجرومتر الكيميائى ، وهو جهاز به أنابيب تحتوى على مادة مجففة ، وعند سحب كمية معينة من الهواء ، وإمرارها على المادة المجففة فإنها تكتسب الرطوبة الموجودة بالهواء ، وبوزن الأنابيب قبل إمرار الهواء وبعده ، يمكن معرفة مقدار بخار الماء الممتص . وبعد ذلك تمرر كمية الهواء ذاتها فى أنابيب بها صوف زجاجى به قدر من الماء يكفى لتشبع الهواء . ثم يمرر الهواء مرة أخرى بمجموعة ثانية من الأنابيب المجففة التى يتم وزنها كما فى الحالة الأولى قبل وبعد إمرار الهواء بها ، ويحسب الفرق فى الوزن وهو يمثل وزن بخار الماء الكافى لتشبع الهواء ، وبذلك يمكن قياس الرطوبة باستخدام المعادلة التالية :

$$\text{الرطوبة النسبية} = \frac{\text{وزن الرطوبة فى الهواء}}{\text{وزن الرطوبة اللازمة لتشبع الهواء}}$$

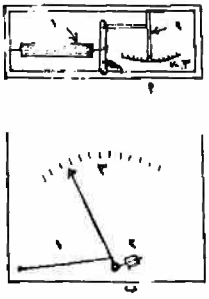
وهذه الطريقة لا تصلح إلا للقياس فى المختبرات .

### ٤ / ١ / ١ هيجرومتر الشعر :

وجد أن شعر الإنسان ذو طبيعة هيجروسكوبية إذ تتغير أبعاده وبصفة خاصة

الطول بتغير رطوبة الجو المحيط به . وقد تمت الإفادة من ذلك فى بناء هيجرومتر يطلق عليه هيجرومتر الشعر . ويوضح الشكل رقم (١٩) نوعاً مبسطاً من هذا الهيجرومتر .

ويمكن صنع هيجرومترات مماثلة لهيجرومتر الشعرة ولكن باستخدام ألياف أو غشاء أو قطعة جلد أو خشب رفيعة ملتصقة بشريحة معدنية ملفوفة على شكل حلزون .



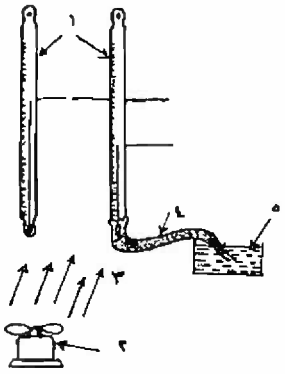
الشكل رقم (١٩)

(١) شعيرات .
(٢) ربطة
(٣) تدريج .
١ شعرة .
٢ ثقل .
٣ تدريج .

**٤ / ١ / ٢ مقياس الرطوبة ذو البصيلتين الجافة والمبللة :**

توجد ظاهرة معروفة جيداً هى ظاهرة البرودة المصاحبة للتبخر ، فتبخر الأثير أو الكحول من اليد مثلا تجعل المرء يشعر ببرودة فيها . ذلك أن التبخير يمتص الحرارة من الجسم ، ويستمر التبخر طالما كان الوسط المحيط بالجسم غير مشبع بالسائل ، وكلما كان الهواء جافاً تبخر السائل بسرعة وبالعكس . وقد أمكن الإفادة من النقص الناتج فى درجة الحرارة بواسطة التبخير لتعيين الرطوبة النسبية ويسمى المقياس المبنى على هذه الظاهرة باسم مقياس الرطوبة ذى البصيلتين الجافة ، والمبللة . وهو يتكون من ترمومترين متماثلين تماماً ، وبصيلة أحدهما مغطاة بفتيلة مبللة والآخر جاف ، ويمكن من قراءة درجة حرارة كل من الترمومترين تعيين الخفض فى درجة الحرارة نتيجة التبخر . ويلاحظ هنا أنه من الضرورى أن تظل البصيلة المبللة مزودة بمقدار

مناسب من الماء ، وإلا فإنه يستحيل ضمان أن قراءة الترمومتر ذى البصيلة المبللة تعطى أقل درجة حرارة ممكنة بالنسبة للظروف السائدة ، كما أنه من الضرورى أيضا أن يغير الهواء المحيط بالبصيلة المبللة بمعدل كاف بحيث لا يصير الهواء المجاور للبصيلة مشبعاً ببخار الماء ، وقد أدى هذا المتطلب إلى تصميم نوعين من مقاييس الرطوبة ذى البصيلتين الجافة والمبللة ، أولهما كما بالشكل رقم ٢٠ عبارة عن ترمومترين متماثلين

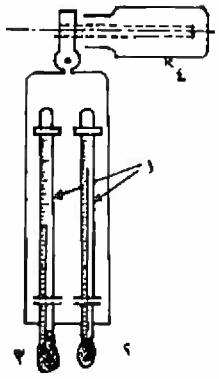



الشكل رقم (٢٠)

مقياس الرطوبة ذو الترمومترين الجاف والمبلل .

(١) ترمومتران .
(٢) مروحة .
(٣) تيار هواء .
(٤) فتيلة مبللة .
(٥) ماء .

بصيلة أحدهما ملفوفة فى فتيلة مبللة مغمورة من أحد طرفيها فى خزان ماء ، والأخرى جافة ويغير الهواء حول الترمومترين بواسطة مروحة كهربائية تعطى هواء سرعته حوالى ٣م/ث. والتصميم الثانى ،كما بالشكل رقم (٢١)، يتكون من ترمومترين مركبين على سنادة واحدة ويمكن إدارتهما حول مقبض باليد . وأحد الترمومترين ذو بصيلة مغطاة بفتيلة مشبعة تماماً بالماء فإذاأدير الترمومتران بسرعة معقولة فإن البصيلة المبللة تبرد ويعرف هذا المقياس باسم مقياس الرطوبة الخزروفى أو الحوام . ويتم الحصول على الرطوبة النسبية من الفرق بين درجتى حرارة الترمومترين والجداول الخاصة بالرطوبة النسبية أو بواسطة مسطرة حاسبة خاصة .




الشكل رقم (٢١)

مقياس الرطوبة الحدروق .

(١) ترمومترات .

(٢) بصيلة حامة .

(٣) قيلة مبللة .

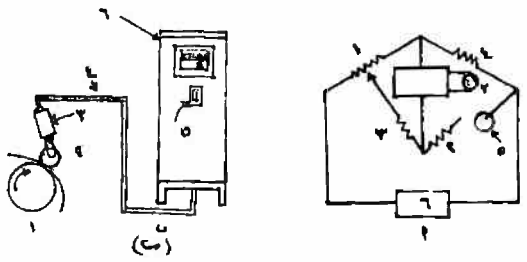
(٤) مقبض .

## ٢/٤ قياس الرطوبة فى الصناعة :

### مسجلات الرطوبة :

يتم تسجيل الرطوبة فى التطبيقات الصناعية بعدة طرق مختلفة منها استخدام ترمومترين زئبقيين ، ولكن المستودعات والأنابيب الشعرية فى هذا النوع من الترمومترات ، لا تكون زجاجا وإنما من الصلب وتتصل الأنبوبة الشعرية بأنبوبة « بوردون » التى تتصل بريشة تتحرك على خارطة مدرجة بدرجات الحرارة . وتسجل الريشتان وبلونين مختلفين ، درجات الحرارة وتعين الرطوبة النسبية بملاحظة كل من درجة حرارة الترمومتر الجاف والفرق بين درجة حرارته وحرارة الترمومتر المبلل ، ثم الرجوع إلى الجداول أو الخرائط الخاصة بالرطوبة ، ويوضح الشكل رقم (٢٢) رسماً توضيحيًّا لجهاز تسجيل الرطوبة .

ويمكن أيضاً استخدام ترمومترات المقاومة أوترمومترات المزدوجة فى قياس الرطوبة وتسجيلها . وفى العادة توصل الترمومترات كل على حدة بأحد أذرع قنطرة « هويتستون » وتوازن عند درجة حرارة واحدة على الذراع الثانى . وتدخل



الشكل رقم (٢٢)

دائرة مسجل رطوبة مستخدم فى الصناعة .

١ - دلفين الماكينة (متصل بالأرض) .
٢ - دلفين الملشات .
٣ - وحدة الإشارة .
٤ - كامل ٣ م (لحد أقصى) .
٥ - محطة الإشارة الصوتية .
٦ مسجل الرطوبة .

١ مقاومة م .
٢ مقاوم م٢ .
٣ مقاومة م٣ .
٤ مقاومة م٤ .
٥ دلفين متصل بالأرض كهربائى .
٦ مصدر قدرة .
٧ - حلقاتومتر

البصيلة المبللة ثم الجافة على التوالى فى الدائرة عن طريق مفتاح كهربائى مناسب وتسجل درجات الحرارة ويمكن تعيين الرطوبة النسبية بالرجوع إلى الجداول أو الخرائط الخاصة بالرطوبة .

### ٤ / ٣ تعيين نقطة الندى :

تعرف نقطة الندى بأنها درجة الحرارة التى يكون عندها الضغط الجزئى لبخار الماء فى الجو أو أى غاز آخر مساوياً ضغط بخار التشبع ؛ وعند هذه النقطة يتحول بخار الماء الموجود فى الهواء إلى قطرات صغيرة من الماء . وكلما زاد بخار الماء فى حجم معين من الهواء عند درجة حرارة معينة ، تم الوصول بسرعة لنقطة الندى إذا

انخفضت درجة الحرارة ، ولكن إذا كان بخار الماء فى الهواء قليلا فإنه يلزم خفض درجة الحرارة أكثر بالمقارنة مع الحالة السابقة إذا أريد الوصول إلى النقطة التى لا يستطيع فيها الهواء حمل الرطوبة الموجودة به .

ويمكن تعيين نقطة الندى بعدد كبير من الطرق بعضها بسيط والبعض الآخر معقد . وإحدى الطرق البسيطة تتمثل فى إمرار ماء بارد فى أسطوانة لامعة وعندما يتكون غشاء رقيق من الماء على السطح الخارجى لهذه الأسطوانة تقاس درجة الحرارة . ويمكن استخدام وسائل تلقائية للكشف عن تكون هذا الغشاء وفى التحكم فى درجة حرارة الوسط الذى يبرد الأسطوانة . ويباع بالأسواق نوع من الهيجرومترات المستخدمة فى تعيين نقطة الندى من صناعة شركة فوكسبرو الأمريكية ، ويتكون هذا الهيجرومتر من خليط حساسة للرطوبة . ووحدة قدرة كهربائية تزودها بالتيار ، ومسجل أو مين أو وسيلة تحكم وضبط ، وتدريج هذا الجهاز معاير بدلالة درجة حرارة نقطة الندى ، وأساس عمل الجهاز هو أنه يوجد لكل ضغط لبخار الماء الملامس لمحلول ملحى ، درجة حرارة توازن بين المحلول والجو المحيط فلا يعطى أحدهما للآخر أو يمتص منه أى قدر من الرطوبة .

### ٤/٤ ملاحظات خاصة باستخدام أجهزة قياس الرطوبة :

(١) تبلل الفتيلة وحدها بالماء النظيف الذى لا تختلف درجة حرارته عن درجة حرارة الوسط إلا ببضع درجات ويتجنب تلوثها بالأتربة أو الأملاح الذائبة إذ أن ذلك يؤثر كثيراً فى معدل التبخر وبالتالى على درجة حرارة الفتيلة .

(٢) يراعى عدم وصول أية سوائل للبصيلة الجافة .

(٣) يتم أرجحة مقياس الرطوبة الحوام فى مدار دائرى بطريقة منتظمة لمدة تتراوح بين ١٥ – ٢٠ ثانية مع تجنب الحركات المفاجئة وأن يكون زمن الدورة الواحدة مناسباً لأنه إذا كان قصيراً جداً فإن درجة حرارة الترمومتر المبلل لن تنخفض

إلى القيمة الصحيحة ، ومن ناحية أخرى إذا كان الزمن طويلا فإن الفتيلة تجف ولا تظل عند أدنى قيمة لها .

(٤) عند استعمال الجهاز لقياس الرطوبة فى الخلاء فيراعى أن يتم ذلك فى الظل ، عند القياس فى الداخل فيراعى عدم وضعه قريباً من أى مصدر حرارى بما فى ذلك جسم الراصد ذاته .

(٥) للحصول على نتائج دقيقة باستعمال مقياس رطوبة من النوع غير الحوام فيلزم تدوير الهواء فوق وحول البصيلتين بسرعة ٤٥٠ سم / ث على الأقل ويراعى توجيهه بحيث يصل إلى البصيلة الجافة أولا .

(٦) لإجراء قياسات عند درجة حرارة دون نقطة التجمد تزال الفتيلة حيث إنه لا جدوى منها وتبلل البصيلة بكميات صغيرة من الماء توضع عليها مباشرة .

(٧) تستخدم فتائل من التيل أو القطن فقط ويجب أن تغطى الفتيلة البصيلة كلها ، كما يتم تغيير الفتيلة مرة كل أسبوع ويراعى وضعها فى الماء مدة حتى تصل لحالة الاتزان قبل الاستعمال .

(٨) يتجنب تركيب الجهاز قريبا من الأبواب أو فى الأماكن التى تكون رطوبتها غير ممثلة للقيم المطلوب قياسها .

(٩) تنظف بصيلتا الترمومترين لأن الأوساخ قد تؤدى إلى أخطاء فى انتقال الحرارة .

(١٠) إذا اختلف الضغط الجوى عن قيمة الضغط التى تمت عندها معايرة ترمومترى الجهاز فيراعى إدخال التصحيح المناسب لقراءتيهما