٣- تزداد فيه سرعة تدفق الهواء.

٤- يوفر أقل حرارة تلزم لتبريد المنتج، حتى الصفر المئوى.

٥- يعطى أسرع تبريد أولى.

٦- تقل فيه تكلفة التشغيل والصيانة.

٧- يمكن تبخير بعض المنتجات (مثلاً: العنب بثانى أكسيد الكبريت) أثناء التبريد الأولى.

ومن أهم عيوب نظام الملفات الجافة ما يلى:

١- يحتاج النظام إلى استعمال مسطح أكبر للملفات يزيد بمقدار ثلاثة أضعاف عن نظام الملفات المبتلة.

٢- زيادة التكلفة الإنشائية.

٣- احتمال تعرض المنتج للتجمد إن لم يتم تشغيل النظام بطريقة سليمة (Tator ١٩٩٧).

الرطوبة النسبية

تُعرَّف الرطوبة النسبية Relative Humidity بأنها: "النسبة المئوية لما يحمله حيز من الهواء من بخار الماء إلى أقصى ما يمكن أن يحمله نفس هذا الحيز من بخار الماء فى نفس درجة الحرارة".

يحتوى الهواء الجوى على عديد من الغازات بالإضافة إلى بخار الماء. ويتكون الهواء الجاف من ٧٨٪ نيتروجين، و ٢١٪ أكسجين، و ١٪ أرجون وثانى أكسيد كربون ومكونات أخرى. أما الهواء الرطب فإنه يكون خليطاً من مكونين، هما: الهواء الجاف وبخار الماء. وتتراوح كمية بخار الماء المتواجد فى الهواء من صفر٪ (فى الهواء الجاف) إلى الحد الأقصى (حد التشبع) الذى يعتمد على درجة الحرارة والضغط. وعلى الرغم من أن بخار الماء يمثل فقط من ٠,٤٪ إلى ١,٥ من وزن الهواء، فإنه يلعب دورًا جوهريًا جدًا فى التأثير على المنتجات الطازجة بعد الحصاد.

المتغيرات السيكرومترية المستعملة فى قياس الرطوبة النسبية

إن المتغيرات التى تستخدم فى قياس رطوبة الجو psychrometric variables أربعة، هى: الحرارة، والرطوبة النسبية، وحرارة نقطة الندى dew point temperature، وحرارة الترمومتر المبتل wet bulb temperature، وهى المتغيرات التى تتضمنها لوحات قياس الرطوبة والتى تعرف باسم اللوحات السيكرومترية psychrometric charts.

وتستخدم عدة أجهزة فى قياس الرطوبة النسبية Relative Humidity، ويعد السيكروميتر psychrometer أكثرها شيوعًا. يحتوى هذا الجهاز على ترمومترين: تُتْرَك بصيلة (مستودع الزئبق) أحدهما دون غطاء (الترمومتر الجاف)، بينما تُغَطَّى بصيلة الترمومتر الآخر بقطعة من القماش المبلل بماء مقطر wick (الترمومتر المبتل). يقيس السيكروميتر "قوة تجفيف" drying power الهواء. وتعتمد النظرية التى يعمل على أساسها على أنه لو كان الهواء المحيط بالبصيلة المبتلة غير مشبع بالماء فإن الماء سيتبخر من القماش المبلل المحيط به؛ مما يؤدى إلى انخفاض حرارته.

وتنخفض حرارة الترمومتر المبتل إلى قيمة معينة حينما تتعادل الحرارة التى تصل – بالحمل convection والتوصيل conduction – من الهواء المنساب حول البصيلة مع الحرارة اللازمة لتبخير الماء النقى الموجود فى قطعة القماش المبللة. ويمكن حساب الرطوبة النسبية من الفرق بين قراءتى الترمومترين الجاف والمبتل بالاستعانة بجداول أو رسوم بيانية خاصة.

وتعد الحركة السريعة للهواء حول الترمومترات ضرورية لدقة القياس، ويتحقق ذلك بسحب تيار مستمر من الهواء بالقرب من بصيلتى الترمومترين، مع تسجيل القراءة فى كليهما فى وقت متقارب وبدقة، ومع الاحتراس لكى لا تؤثر فيها حرارة الجسم أو الحرارة المنبعثة من الأجسام الأخرى المحيطة بهما. ويتحقق ذلك بحفظ السيكروميتر بداخل صندوق خشبى يسمح بمرور الهواء بحرية من خلاله وحول الجهاز.

يلاحظ أنه – عند الصفر المئوى أو الحرارة الأقل من ذلك – يؤدى أى خطأ ولو بمقدار نصف درجة مئوية فى قراءة أى من الترمومترين الجاف أو المبتل إلى خطأ يقدر بنحو ٥٪–١٠٪ فى قراءة الرطوبة النسبية؛ ولذا .. يجب أن تستخدم ترمومترات معايرة جيدًا لهذا الغرض.

تستخدم اللوحة السيكرومترية psychrometric chart (شكل ١٠–٢) فى التوصل إلى قيمة الرطوبة النسبية من واقع قراءتى الترمومترين الجاف والمبتل.

الخصائص السيكرومترية الهامة

نناقش – فيما يلى – الخصائص السيكرومترية psychrometric properties ذات الأهمية فيما بعد حصاد المنتجات البستانية:

١– درجة حرارة الترمومتر الجاف dry bulb temperature (db):

إن حرارة الترمومتر الجاف هى حرارة الهواء الفعلية المقيسة بترمومتر عادى.

٢– درجة حرارة الترمومتر المبتل wet bulb temperature (wb):

تقاس حرارة الترمومتر المبتل بترمومتر عادى يغطى فيه مستودع الزئبق بشريط مبتل يصل إلى كأس به ماء مقطر، مع تعرض الشريط لتيار من الهواء. يؤدى تعرض الشريط المبتل لتيار الهواء إلى تبخر الماء منه؛ وتُستَمد حرارة تبخير الماء من الجو المحيط بالشريط. ويتعين أن يكون تيار الهواء كافيًا لمنع حدوث تغير جوهرى فى حرارة الهواء المحيط. ويؤدى تبخر الماء إلى تبريد مستودع الزئبق، وكلما كان الهواء المار به جافًا كلما ازداد معدل تبخر الماء من الشريط. وكلما ازداد الانخفاض فى حرارة الترمومتر المبتل. وتعد حرارة الترمومتر المبتل هى أقل حرارة يمكن أن يبرد إليها مخلوط الهواء اعتمادًا – فقط – على إضافة الماء إليه دون إزالة لأى حرارة منه، وهى العملية التى تعرف باسم التبريد بالتبخير evaporative cooling.

٣– نقطة الندى:

إذا ما بُرِّد الهواء دون إحداث تغيير فى محتواه من الرطوبة فإنه يفقد القدرة على

الاحتفاظ بالرطوبة. وإذا ما استمر تبريده فإنه يصل إلى درجة التشبع، ثم — مع استمرار التبريد — يفقد ماء على صورة ندى أو صقيع. وتعرف الحرارة التى يحدث عندها التكثف الرطوبى باسم "نقطة الندى" dew point إن كانت الحرارة أعلى من الصفر المئوى، وباسم "نقطة الصقيع" frost point إن كانت أقل من الصفر.

٤– الرطوبة النسبية relative humidity (RH):

هى أكثر القيم استعمالاً للتعبير عن حالة بخار الماء فى الهواء الرطب، وهى نسبة ضغط بخار الماء فى الهواء إلى ضغط بخار الماء الذى يحدث عنده التشبع فى نفس درجة الحرارة، ويعبر عنها كنسبة مئوية.

٥– نسبة الرطوبة humidity ratio:

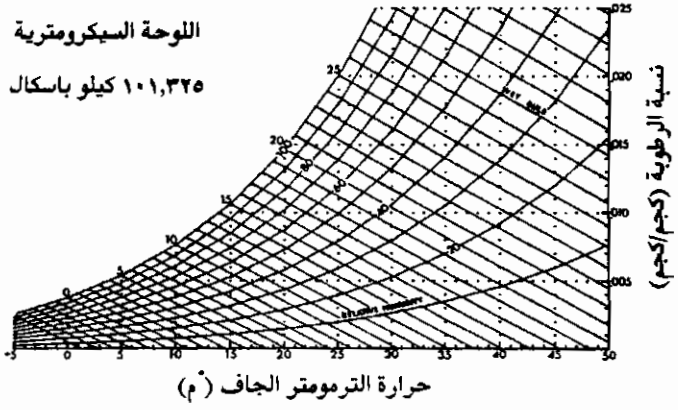
تعرف نسبة الرطوبة بأنها نسبة وزن بخار الماء فى الهواء الرطب إلى وزن الهواء الجاف فى العينة، ويعبر عنها بالكيلوجرام من الماء لكل كيلوجرام من الهواء الجاف، كما أنها تعرف — كذلك بالـ mixing ratio، وبالرطوبة المطلقة absolute humidity. ولهذه الخاصية فائدة كبيرة إذ إنها تسمح بمقارنة حالتين فيما يتعلق بالانحدار الرطوبى بينهما، فبخار الماء ينتقل من حالة تكون فيها الرطوبة عالية إلى حالة تكون فيها الرطوبة أقل (Talbot & Baird ٢٠٠٢).

اللوحة السيكرومترية

تظهر درجة حرارة الترمومتر الجاف على المحور الأفقى للوحة السيكرومترية (شكل ١٠–٢)، بينما يمثل المحور الرأسى المحتوى الرطوبى للهواء، وهو ما يعرف بالرطوبة المطلقة absolute humidity أو نسبة رطوبة بخار الماء إلى الهواء (humidity ratio). وتكون وحدة قياس الرطوبة المطلقة — عادة — هى وزن بخار الماء لكل وزن معين من الهواء الجاف. ويعبر عنها بالجرام/كجم (أو بالكيلوجرام/كيلوجرام فى النظام الدولى للوحدات).

وعادة .. تتراوح الرطوبة المطلقة من ٠,٠٠٤–٠,٠١٥ كجم/كجم. وبالرغم من أن

نسبة بخار الماء تتراوح فى هذا المدى الرطوبى بين ٠,٤٪ و ١,٥٪ – بالوزن – من الهواء، فإن بخار الماء يلعب دورًا جوهريًا فى التأثير على فترة بقاء الخضر المخزنة بحالة نضرة.



شكل (١٠-٢): اللوحة السيكرومترية Psychrometric chart.

ويظهر على أعلى خط منحنٍ فى اللوحة الحد الأقصى لكمية بخار الماء التى يمكن أن يحملها الهواء عند كل درجة حرارة. يلاحظ أن الهواء تزيد قدرته على حمل بخار الماء – تدريجيًا – مع كل ارتفاع فى درجة حرارته. ويعرف هذا المنحنى العلوى كذلك بمنحنى الـ ١٠٠٪ رطوبة نسبية. أما المنحنيات الأخرى، فإنها – كما تظهر فى الشكل من أعلى إلى أسفل – منحنيات الـ ٨٠٪، و الـ ٦٠٪، والـ ٤٠٪، والـ ٢٠٪ رطوبة نسبية. ويمثل المحور الأفقى منحنى الـ صفر ٪ رطوبة نسبية.

ويمكن رسم منحنى لـ ٥٠٪ رطوبة نسبية؛ حيث إنه يمر بالنقط التى تمثل رطوبة مطلقة تعادل نصف أقصى رطوبة مطلقة فى أى درجة حرارة؛ أى إنه يقع – دائمًا – فى منتصف المسافة العمودية بين منحنى الـ ١٠٠٪ رطوبة نسبية والمحور الأفقى الذى يمثل صفر ٪ رطوبة نسبية. ويمكن رسم أية خطوط أخرى للرطوبة النسبية باتباع نفس الطريقة.

وكقاعدة عامة – كما يلاحظ من الشكل – فإن قدرة الهواء عل حمل الرطوبة تزداد – تقريبًا – بمقدار الضعف مع كل ارتفاع قدره ١١°م فى درجة الحرارة.

وإذا انخفضت درجة حرارة الهواء فى المخازن، فإن قدرته على حمل بخار الماء تنخفض تبعًا لذلك، وربما يصبح مشبعًا ببخار الماء؛ أى تصبح رطوبته النسبية ١٠٠٪. وإذا استمر الانخفاض فى درجة حرارة الهواء، فإنه يفقد جانبًا من رطوبته فى صورة ندى أو تكثف لبخار الماء. وتعرف الحرارة التى يحدث عندها التكثف باسم "حرارة الندى" dew point temperature. وقد يكون الفقد الرطوبى فى صورة صقيع إذا انخفضت الحرارة إلى أقل من الصفر المئوى، وتعرف الحرارة حينئذٍ باسم "حرارة الصقيع" frost point temperature.

وتجدر ملاحظة أن الرطوبة النسبية المقدرة لا تمثل – وحدها – قيمة ذات معنى؛ فهى لابد وأن تكون مصاحبة لأى متغير سيكرومترى آخر. وكما يتبين من شكل (١٠-٢) فإن حالة الهواء الذى يحتوى على ٨٠٪ رطوبة نسبية تختلف كثيرًا جدًّا عند الصفر المئوى منه عند ٢٠°م مع نفس الرطوبة النسبية.

وتظهر درجة حرارة الترمومتر المبتل بالخطوط المائلة التى تمتد قطريا إلى أعلى – من اليمين إلى اليسار – عبر الشكل. تُستعمل هذه الخطوط فى تحديد المنطقة التى تمثل حالة الهواء بدقة على اللوحة السيكرومترية كما قيست باستخدام السيكروميتر؛ حيث إن نقطة تقاطع خط قراءة الترمومتر المبتل مع الخط العمودى – الذى يمثل قراءة الترمومتر الجاف – تمثل حالة الحرارة والرطوبة الجوية (عن Grierson & Wardowski ١٩٧٥، و Kader وآخرين ١٩٨٥).

وتحدد نقطة الندى لأى حالة معينة بالتقاطع بين خط أفقى يرسم ليصل بين تلك الحالة (التى تمثلها نقطة) وخط التشبع الذى يمثل ١٠٠٪ رطوبة نسبية.

أما ضغط بخار الماء فإنه لا يظهر فى كل اللوحات السيكرومترية، ولكنه قيمة هامة عند تداول المنتجات الطازجة. ونجد عند ضغط بارومترى معين أنه يوجد ارتباط مباشر

بين نسبة الرطوبة وضغط بخار الماء أيًّا كانت درجة الحرارة. ويستخدم ضغط بخار الماء – غالبًا – كتعبير عن مستوى الرطوبة، وخاصة فيما يتعلق بالفرق فى ضغط بخار الماء بين نقطتين، وهو الذى يعرف باسم vapor pressure deficit. هذا وينساب بخار الماء من نقطة ذات ضغط عالٍ إلى أخرى ذات ضغط أقل. ويحدد الـ vapor pressure deficit معدل النتح، وبالتالى معدل فقد الماء من المنتجات البستانية، الأمر ذات الأهمية عند تداول تلك المنتجات (Talbot & Baird ٢٠٠٢).

وسائل أخرى لقياس الرطوبة النسبية

يمكن أخذ قراءات مباشرة للرطوبة النسبية باستعمال الـ hair hygrometers. ويتعين فى هذه الحالة معايرة هذه الأجهزة دوريًّا باستعمال سيكروميتر.

وتستخدم الـ electrical hygrometers – كذلك – بصورة متزايدة لقياس الرطوبة، وللتحكم فى أجهزة الترطيب humidifying equipments. وأساس عمل هذه الأجهزة هو قدرة الغشاء الهيجروسكوبى hygroscopic film على تغيير مقاومته للكهرباء مع أى تغير صغير فى الرطوبة النسبية. وتجب معايرة هذه الأجهزة بصورة دورية.

وسائل التحكم فى الرطوبة النسبية

إذا لم تكن رطوبة المخزن بعد التبريد كافية، فإنه ينصح بإضافة رذاذ الماء إلى هواء الخزن، أو رش الأرضيات بالماء على فترات، وعادة ما تكفى ٤ لترات من الماء فى الساعة/لكل طن تبريد؛ للحفاظ على ٩٥٪ رطوبة نسبية (Ware & MaCollum ١٩٨٣).

ومما يساعد على تأمين الرطوبة النسبية المناسبة استعمال الثلج المجروش، ورش المنتجات بالماء، وعدم اختلاف حرارة ملفات التبريد عن حرارة هواء المخزن بأكثر من ثلاث درجات مئوية – لمنع تكثف الرطوبة عليها – ويتحقق ذلك باستعمال ملفات كبيرة.

والأكثر شيوعًا هو استخدام أجهزة الترطيب، التى تقوم بإضافة الماء آليًّا – عند

اللزوم – على صورة ضباب. ويتم التحكم الآلى عن طريق الـ electrical hygrometers التى سبقت الإشارة إليها.