وغالبًا .. لا يمكن لهذا النوع من المبردات تبريد أكثر من بالتة واحدة فى وقت واحد، ولكن يمكن تصميم وحدات يمكنها تبريد حتى ثمانى بالتات فى المرة الواحدة. وعمومًا فهذه المبردات أقل تكلفة وتناسب صغار المزارعين.

ومن أهم عيوب المبردات العادية ومبردات الوحدات عدم تجانس عملية التبريد نظرًا لعدم تجانس توزيع الماء المثلج أثناء مروره على المنتج؛ مما يتسبب فى ضعف التبريد فى أجزاء منه. وللتغلب على هذه المشكلة تزود بعض مبردات الوحدات بمروحة عالية القدرة على جذب رذاذ دقيق من الماء المثلج خلال العبوات، علمًا بأن جذب المراوح للماء يكون بطريقة أكثر تجانسًا عما يحدث بتأثير الجاذبية وحدها. وتعرف هذه الوحدات باسم hydro-air cooling.

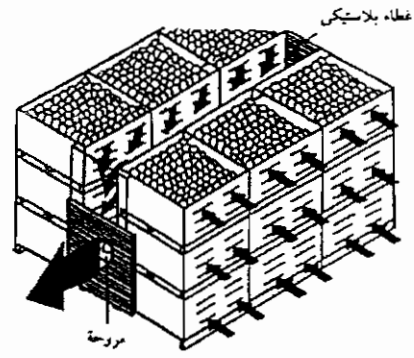
٣- مبردات الغمر immersion hydrocoolers:

تكون مبردات الغمر كبيرة وغير عميقة، ومستطيلة تسمح باستيعاب ماء بارد متحرك. توضع عبوات المنتَج الدافئ فى أحد نهايتى حوض التبريد وتتحرك بسير متحرك مغمور فى الماء إلى النهاية الأخرى، حيث ترفع. ويمكن الاستفادة بثلج مسحوق للمحافظة على برودة الماء، وبمضخة للمحافظة على حركة الماء. وتتحدد مدة بقاء المنتج فى الماء بحرارته الابتدائية ومقدار الخفض المطلوب فى حرارته.

وتزيد كفاءة هذا المبرد بمقدار الضعف عن كفاءة تبريد النوعين الآخرين، بسبب ملامسة الماء البارد التامة لكل منتج (Boyette وآخرون ١٩٩٢).

التبريد الأوَّلى بطريقة السريان الجبرى للهواء

يتشابه التبريد بطريقة السريان أو الدفع الجبرى للهواء Forced Air Cooling مع الطريقة الأولى من حيث إجرائها على الخضر المعبأة والموضوعة فى غرف ثابتة، وتختلف عنها فى أن الهواء يتم توجيهه فى مسارات محددة يتخلل خلالها العبوات التى يتم رصها بطريقة معينة (شكل ٨-٤). وهى تعطى تبريدًا سريعًا جدًّا. بالمقارنة بالطريقة الأولى.



شكل (٨–٤): مسار الهواء فى التبريد الآلى بطريقة السريان الجبرى للهواء (عن Wills وآخرون ١٩٨١).

تتوقف فترة التبريد الأوّلى بنظام الدفع الجبرى للهواء على العوامل التالية:

١– التعبئة والمواد التى تصنع منها العبوات.

٢– تصميم الكراتين ومساحة التهوية الكلية بها.

٣– نظام "تستيف: ورص الكراتين.

٤– معدل تدفق الهواء وتصميم نفق التبريد.

٥– قدرة الثلاجات على التبريد ونظام التبريد المستخدم فيها.

وللمقارنة .. فإن الفراولة المعبأة فى الكراتين القياسية يمكن أن تبرد بنظام الدفع الجبرى للهواء حتى صفر إلى –١°م فى حوالى ساعة واحدة إلى ساعة ونصف الساعة. بينما يمكن تبريد الكنتالوب المعبأة فى كراتين تحتوى على فتحات تهوية بنسبة ٤٪–٥٪ من مساحة جدرانها إلى ١–٣°م فى نحو ساعتين ونصف إلى ثلاث ساعات (Tator ١٩٩٧).

يتميز التبريد الأوّلى بالدفع الجبرى للهواء بما يلى:

١– تقصير الفترة التى تمضى لحين تبريد المحصول؛ بما يعنى تقليل التدهور الذى يصاحب الارتفاع فى حرارته.

٢– تقصير فترة عملية التبريد؛ بما يعنى زيادة كفاءة الاستفادة من وحدات التبريد ذاتها.

٣– يمكن اتباع تلك الطريقة فى تبريد عدد متنوع من المنتجات فى عبوات مغلقة دونما حاجة إلى بلّها أو إخضاعها لعمليات تداول إضافية.

٤– تكون هذه الطريقة أكثر كفاءة فى استهلاك الطاقة عن التبريد فى غرف التبريد عندما يُراد تبريد كمية كبيرة من المنتج.

٥– يمكن تحويل حجرة تبريد مبردة مزودة بوحدات تبريد جيدة إلى وحدات تبريد بالدفع الجبرى للهواء بقدر يسير من الاستثمار فى المراوح (Boyette وآخرون ١٩٨٩).

هذا .. ويعرف طرزان من أجهزة التبريد المستخدمة فى المخازن المبردة، ومع التبريد الأولى بطريقة الدفع الجبرى للهواء، هما:

١– طراز الملف المبتل wet spray deck style.

٢– طراز الملف الجاف dry-coil high humidity.

لكل من الطرازين مميزاته وعيوبه، ولكن طراز الملف الجاف هو الأكثر انتشارًا (Tator ١٩٩٧).

ونلقى مزيدًا من الضوء على طرازى أجهزة التبريد فى الفصل العاشر.

لا يمكن الاعتماد على المراوح التى تدفع الهواء خلال ملفات التبريد فى الحجرات المبردة لأجل التبريد بطريقة الدفع الجبرى للهواء. فهذه المراوح لا تكون كبيرة بالقدر الكافى، ولا يتناسب مكانها مع عملية التبريد الأوّلى. كذلك فإن الهواء الخارج من الملفات مباشرة يكون شديد البرودة ولا يجوز استعماله — مباشرة — فى عملية التبريد الأوّلى، وإنما يلزم خلطه أولاً بالهواء الدافئ — نسبيًّا — الموجود فى باقى أجزاء الغرفة؛ بما يعنى الحاجة إلى مراوح إضافية لتحريك الهواء خلال المنتج. ولتحقيق أفضل توزيع للحرارة فإن تلك المراوح يجب أن تسحب — لا أن تدفع — الهواء خلال المنتج.

ولأن الهواء يُجبَر على أن يمر خلال عبوات المنتج بسبب الفرق فى ضغط الهواء بين

جانبى تلك العبوات، فإن يكون من الضرورى أن تكون العبوات ممتلئة جيداً؛ وأن تكون مرصوصة بطريقة تكون معها الفجوات والفتحات فى حدها الأدنى؛ لأن الهواء يمر خلالها بسرعة أكبر مما يمر بها من خلال المنتج؛ مما يتطلب زيادة فترة التبريد. كذلك يجب الاكتفاء بصف واحد من البالتات بعرض ٩٠–١٢٠سم لصعوبة مرور الهواء من خلال صفين من البالتات مع استعمال مراوح قوية جدًّا (Boyette وآخرون ١٩٨٩).

ومن أهم ما تجب ملاحظته بشأن المراوح المستخدمة فى الدفع الجبرى للهواء البارد، ما يلى:

١– يجب أن تكون المروحة أو المراوح المستعملة قادرة على سحب الهواء بمعدل ٢,٥–٣,٤م^{٣} فى الساعة لكل كيلوجرام واحد من المنتَج المراد تبريده عند حد أدنى لضغط الهواء قدره ٢٥,٤–٣٨,١ مم ماء).

٢– يجب أن تكون المروحة أو المراوح المستعملة مصممة بسرعات مختلفة يمكن التحكم فيها لتناسب مختلف المنتجات. وسرعة التبريد أثناء دورات التبريد.

٣– يمكن استعمال مراوح إضافية لتوجيه الهواء الخارج من النفق نحو ملفات التبريد.

٤– يجب تصميم دفع الهواء بحيث لا يزيد الارتفاع فى درجة حرارة الهواء الخارج من النفق عن الهواء الداخل فيه عن ١.٥–٢,٠°م على الأكثر.

٥– يجب أن يتخلل الهواء الداخل إلى النفق والخارج منه كل الكراتين بالنفق حتى لا يحدث تفاوت كبير فى حرارة المنتَج بها.

٦– يجب أن يكون النفق واسعًا بقد يسمح بألا تزيد سرعة الهواء عن ٣٠٠ متر فى الدقيقة؛ ذلك لأن السرعة العالية تسبب عدم تجانس توزيع الهواء وعدم تجانس الضغط فى الأجزاء المختلفة من النفق.

إن فترة التبريد الأوّلى التى تلزم عند اتباع طريقة الدفع الجبرى للهواء تتحدد بكل من سرعة وحجم تيار الهواء البارد وقطر ثمار المنتج الذى يُراد تبريده. وغالبًا ما تعمل هذه المبردات بمعدل لتر واحد من الهواء لكل كيلوجرام واحد من المنتج فى الثانية (حوالى قدم

مكعب من الهواء لكل رطل من المنتج فى الدقيقة) بمدى يتراوح بين ٠,٥ إلى ٢,٠ لتر لكل كيلوجرام فى الثانية.

وبمعدل لتر واحد من الهواء البارد المدفوع لكل كيلوجرام من المنتَج فى الثانية يلزم لتبريد محصول مثل العنب حوالى ساعتين، بينما يلزم لتبريد الكنتالوب – الأكبر حجمًا – أكثر من خمس ساعات.

يجب أن تحتوى جوانب الكراتين على فتحات بجدرانها بنسبة حوالى ٥٪ من مساحة الجدران؛ لتسمح بمرور الهواء من خلالها بحريّة دون أن يحدث انخفاض كبير لضغط الهواء بداخلها. أما مواد التعبئة الداخلية فإنه يجب اختيارها بحيث لا تؤثر كثيرًا على تحرك تيار الهواء من خلال الكراتين.

يتسبب الدفع الجبرى للهواء فى فقد بعض الرطوبة من المنتَج أثناء تبريده، وقد يكون هذا الفقد ضئيلاً جدًّا فى المنتجات التى يقل فيها كثيرًا معدل النتح مثل ثمار الموالح، وقد يصل إلى نسبة يعتد بها من الوزن الأصلى للمنتج فى المنتجات التى يرتفع فيها معدل النتح. ويرتبط الفقد الرطوبى خطيًّا مع الفرق بين درجتى الحرارة الابتدائية والنهائية للمنتَج؛ وبذا .. تؤدى الحرارة الابتدائية العالية للمنتَج على زيادة الفقد الرطوبى عما لو كان المنتج ذا حرارة منخفضة – نسبيًّا – ابتداء. ويمكن خفض الفقد الرطوبى بتعبئة المنتج فى أكياس أو لفة بالبلاستيك ولكن ذلك يتطلب زيادة فترة التبريد.

تعد طريقة الدفع الجبرى للهواء أقل طرق التبريد الأوَّلى كفاءة فى استهلاك الطاقة. ولكنها أكثر الطرق شيوعًا نظرًا لصلاحيتها لمدى واسع من المنتجات ونظم التعبئة، ويمكن تجهيز حجرات التبريد القائمة بوحدات صغيرة منها (Thompson ٢٠٠٤).

ونظرًا لأن الدفع الجبرى للهواء يعمل على زيادة فقد المنتج لبخار الماء؛ ومن ثم ذبوله وفقدانه لجودته، فإنه يتعين المحافظة على رطوبة نسبية عالية تتراوح بين ٩٠٪ و ٩٨٪ فى المخازن المبردة إذا ما تركت فيها المنتجات المبردة ولو لساعات قليلة قبل شحنها.

وإذا ما كان الماء المتكثف على ملفات التبريد ينصرف على الخارج فإن الرطوبة النسبية داخل الغرف المبردة قد تصبح شديدة الانخفاض. ويمكن الحد من ذلك التكثف المائى بدرجة كبيرة بخفض الفارق فى درجة الحرارة بين الهواء الداخل فيها والخارج منها إلى ٢,٥°م؛ الأمر الذى يمكن تحقيقه بزيادة حجم الملفات وأعدادها. وعمليًا .. يصعب تحقيق مستويات رطوبة نسبية تزيد عن ٨٠٪ أو ٨٥٪ ما لم تزود حجرات التبريد بنظام للترطيب، أو بالإدارة الجيدة جدًا للمكان.

ومن بين الوسائل المتبعة لزيادة الرطوبة النسبية رش الأرضيات بالماء من وقت لآخر، إلاّ أن ذلك الإجراء قد لا يتفق مع متطلبات الصحة العامة، وقد لا يكون كافيًا، كما أن الرطوبة العالية جدًا لفترات طويلة تحفز نمو الأعفان والفطريات. ويكون من الأفضل غالبًا تزويد حجرات التبريد بوحدات للترطيب (Boyette وآخرون ١٩٨٩).

التبريد الأوَّلى بالتفريغ

يعتمد التبريد بالتفريغ Vacuum Cooling على أساس أن تعرض المنتجات الطازجة للتفريغ وهى فى حيز مغلق يؤدى إلى تبخر الرطوبة منها، ويؤدى ذلك تلقائيًا إلى انخفاض درجة حرارتها؛ لأن عملية تبخر الماء تلزمها طاقة يُتَحصَل عليها من المنتجات ذاتها. وتصلح هذه الطريقة للمنتجات ذات الأسطح التبخيرية الكبيرة؛ مثل الخضر الورقية عمومًا. ويلزم إجراءها على الخضروات وهى مبتلة؛ حتى لا تفقد نسبة كبيرة من رطوبتها.

وعند إجراء التبريد بهذه الطريقة توضع المنتجات معبأة فى حجرات من الصلب محكمة الإغلاق، ومجهزة بوسائل لتخفيض الضغط الجوى فيها بسرعة حتى يصل إلى ٤.٦مم زئبق، حيث يغلى الماء حينئذٍ فى درجة حرارة الصفر المئوى. وإذا ما حوفظ على هذا الضغط لفترة كافية فإن حرارة المنتَج تنخفض إلى الصفر المئوى.

وتفقد الخضر الورقية من ١,٥٪–٤.٧٪ من وزنها؛ بسبب فقد الرطوبة أثناء التبريد. ويكون الفقد بمعدل ١٪ لكل انخفاض قدره ٦°م فى حرارة المنتج.