# تطبيقات سلسلة التبريد للأغذية سريعة التلف

عاطف عبد المنعم الأنصاري والهادي يحي كازوز

# Cold Chain for Perishable Foods

Atef Elansari and Elhadi Yahia Kazuz

# تطبيقات سلسلة التبريد للأغذية سريعة التلف

عاطف عبد المنعم الأنصاري والهادي يحي كازوز

# Cold Chain for Perishable Foods

Atef Elansari and Elhadi Yahia Kazuz

منظمة الأغذية و الزراعة للأمم المتحدة
المكتب الإقليمي للشرق الأدنى
القاهرة، مصر

2012

الأوصاف المستخدمة في هذه المواد الإعلامية وطريقة عرضها لا تعبر عن أي رأي خاص لمنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة في ما يتعلق بالوضع القانوني أو التنموي لأي بلد أو إقليم أو مدينة أو منطقة، أو في ما يتعلق بسلطاتها أو بتعيين حدودها وتخومها. ولا تعبر الإشارة إلى شركات محددة أو منتجات بعض المصنعين، سواء كانت مرخصة أم لا، عن دعم أو توصية من جانب منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة أو تفضيلها على مثيلاتها مما لم يرد ذكره.
تمثل وجهات النظر الواردة في هذه المواد الإعلامية الرؤية الشخصية للمؤلف (المؤلفين)، ولا تعكس بأي حال وجهات نظر منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة.

ISBN 978-92-5-607219-1

جميع حقوق الطبع محفوظة. وإن منظمة الأغذية والزراعة تشجع نسخ ونشر المواد الإعلامية الواردة في هذا المطبوع. ويجوز عند الطلب استخدامه مجاناً لغير الأغراض التجارية. وقد يتوجب دفع رسوم مالية لقاء نسخه بغرض إعادة بيعه أو لأغراض تجارية أخرى، بما في ذلك للأغراض التعليمية. وتقدم طلبات الحصول على إذن بنسخ أو نشر منتجات المنظمة المحمية بموجب حقوق الطبع وغيرها من استفسارات عن الحقوق والتراخيص بالكتابة على عنوان البريد الإلكتروني: copyright@fao.org أو إلى:

Chief
Publishing Policy and Support Branch
Office of Knowledge Exchange, Research and Extension
FAO
Viale delle Terme di Caracalla
00153 Rome, Italy

© FAO 2012

# تقديم

يعتبر التحكم فى درجة حرارة الأغذية بصفة عامة ومحاصيل الخضر والفاكهة الطازجة بصفة خاصة أهم أساليب المحافظة على جودتها وسلامتها منذ وقت الحصاد وحتى توصيلها للمستهلك. وتبدأ عمليات التحكم فى درجة الحرارة بتظليل المحصول بمجرد حصاده لحمايته من أشعة الشمس وسرعة نقله إلى مكان التبريد السريع للتخلص من حرارة الحقل ثم تخزينه فى مخزن مبرد حتى يتم إعداده للتسويق وشحنه فى سيارة النقل المبردة أو حاوية النقل البحري المبرده، وكذلك وضع المحصول فى مخزن مبرد إلى درجة الحرارة المثلى حسب نوع المحصول عند استلامه فى مراكز التوزيع بالجملة ثم عرض المحصول للبيع فى ثلاجة عرض مبرده بأسواق التجزئة، وأخيراً وضع المحصول فى الثلاجة المنزلية لدى المستهلك، ويلي درجة الحرارة فى الأهمية المحافظة على رطوبة نسبية ما بين 85 و95 % (باستثناء البصل، الثوم، الخضر، والفاكهة المجففة كالتمور، والنقل ويناسبها رطوبة نسبية ما بين 55 و70 %) لتقليل فقد الماء من المحصول، وتؤثر درجة الحرارة والرطوبة النسبية على فعالية ومدى نجاح معاملات ما بعد الحصاد مثل العلاج التجفيفى لمحاصيل الخضر الجذرية (مثل البطاطا، البطاطس، البصل، والثوم) والمعامل بالمواد المانعة للتزريع، والمعاملة بالمطهرات الفطرية لمنع نمو الفطريات على المحصول، كما تؤثر درجة الحرارة على معدات فقد الصلابة وفقد القيمة الغذائية والطعم المرغوب والتنفس وإنتاج غاز الإيثلين ومدى تأثير غاز الإيثلين والجو الهوائي المعدل (تركيزات غازات الأكسجين وثانى أكسيد الكربون) على المحصول، وكذلك تؤثر درجة الحرارة على معدل نمو الفطريات والبكتريا وبالتالي معدل تدهور المحصول ومدى الفاقد بعد الحصاد، ومدى سلامة الغذاء للمستهلك، وبصفة عامة فإن هناك علاقة واضحة بين مدى استخدام التبريد والمحافظة على سلسلة التبريد أثناء تداول الأغذية وكمية الفاقد منها بعد الحصاد.

ولذلك فإن توفير الإمكانيات اللازمة للمحافظة على سلسلة التبريد تعتبر أحسن الوسائل لتقليل الفاقد فى الأغذية أثناء تداولها وتوزيعها، ويتوقف نجاح التبريد على القيام بعمليات الصيانة الدورية وتوفير مصدر مضمون للطاقة واستخدام مكونات سلسلة التبريد بكفاءة عالية على مدار العام لتقليل التكاليف لتبريد وتخزين طن من المحصول، ويشمل هذا الكتاب معلومات هامة ومفيدة عن كل الحقائق المذكورة فى هذه المقدمة ولذلك فإننى أنصح جميع من يهمهم المحافظة على جودة وسلامة الأغذية وتقليل الفاقد منها بقراءة هذا الكتاب وتنفيذ التوصيات الورادة فيه، كما أننى أشكر الدكتور/ عاطف الأنصارى والدكتور/ الهادى يحيى على مجهودهما الممتاز فى إعداد هذا الكتاب القيم وأتمنى لهما دوام التوفيق.

أ.د. عادل عبد القادر
أستاذ بجامعة كاليفورنيا بديفز

مارس 2012

# مقدمة

ندرة المياه والعديد من الموارد الهامه للإنتاج الغذائي في الوطن العربي بالإضافة لمشاكل أخرى عديدة مثل فقد كميات هائلة من الغذاء وعدم توفر البنية التحتية الضرورية والدراية الكافية تعد من التحديات الرئيسية للمنطقة التي لا زالت تعاني من مشكلة عويصة في الأمن الغذائي ولذا تعتمد على الإستيراد في ضمان الجزء الأكبر من غذائها. هذه المشاكل تفرض الكثير من القيود على التوسع الأفقي في كثير من دول المنطقة كأحد محاور زيادة الإنتاج. إتباع الطرق السليمة للمحافظة على الغذاء وعلى جودته والتقليل من الفاقد يعتبر من المحاور الهامة لزياد المتاح من الغذاء والذي صرفت لإنتاجة الكثير من الموارد الطبيعية (مثل الماء والأرض والطاقة والكيماويات ألخ) والبشرية ومن ثم فالحد من هذا الفاقد يشكل قيمة مضافة مهمة وضرورية لكنها تحتاج الكثير من الجهد. سلسلة التبريد تعتني بالعامل الأكثر تأثيرا على الأغذية أثناء كل مراحل تداولها والتي تسبب سرعة تدهورها ومن ثم فقدها ألا وهو درجة الحرارة. تبدأ العناية بسلسلة التبريد من فترة ما قبل الزراعة من خلال إختيار الأصناف الجيدة ذات الصفات المقاومة والعمر التسويقي الملائم.

في إطار ما سبق يأتي هذا المؤلف ليعالج كافة المراحل التي يجب أن تشتملها سلسلة التبريد حيث يغطي الفصل الأول بعض الجوانب البيولوجية المميزة للأغذية سريعة التلف والتي يجب مراعاتها عند تصميم وإختيار وسائل وتقنيات الحفاظ على سلسلة التبريد. يغطي الفصل الثاني بعض خصائص الهواء حيث أنه وسط التخزين في كل مراحل سلسلة التبريد. في الفصل الثالث يتم التعرض لأساسيات عملية التخزين المبرد ودائرة التبريد الميكانيكية ونظمها المختلفة. في الفصل الرابع يتم شرح المكونات الرئيسية لدائرة التبريد ووظيفة كل عنصر مع تحديد أثر أختياره على الأداء الكلي للنظام. في الفصل الخامس يتم التعرض تفصيليا لطرق التبريد السريع بما فيها التبريد بدفع الهواء، التبريد المائي، التبريد بالتفريغ وغيرها من الطرق المطبقة عند تداول الأغدية المختلفة.

يتعلق الفصل السادس بتقنية الهواء الجوي المعدل والمتحكم فيه حيث يمكن تطبيق تلك التقنية على عدة أغذية محددة تساهم في الحفاظ على جودتها وعلى عمرها التسويقي. في الفصل السابع يتم شرح كيفية حساب الأحمال التبريدية والتي تعتبر الأساس لإختيار معدات التبريد وذلك لكل من عمليات التخزين المبرد وكذلك عمليات التبريد السريع. في الفصل الثامن يتم التعرض لكافة سبل النقل الخاصة بالأغذية سريعة التلف من إيضاح ظروف تطبيق كل طريقة. يتعرض الفصل التاسع لعملية تخطيط مخازن التبريد وخطواتها المختلفة وكافة الإعتبارات الواجب مراعتها للوصول لأفضل الخيارات التي تحقق أهداف المشروع. في الفصل العاشر يتم شرح الأنماط الحديثة في بناء مخازن التبريد والتي تشمل كذلك على المخازن شاهقة الإرتفاع والتي تعمل بصورة آلية بالكامل.

في الفصل الحادي عشر يتم التعرض لنظم التداول الداخلية المختلفة سواء التخزين السائب (الصب) أو طبليات معدنية، صناديق خشبية، أو بنظم الأرفف المختلفة. يتعرض الفصل الثاني عشر لعمليات الصيانه

والتشغيل التي تشكل العمود الفقري اللازم لحسن أداء مخازن التبريد وبقية عناصر سلسلة التبريد. الفصل الثالث عشر يتعلق بسلامة مخازن التبريد ووسائل توفير الإشتراطات الصحية التي تحد من أي مخاطر سواء للعاملين بتلك المنشآت أو للأغذية المتداولة. الفصل الرابع عشر يتعلق بتطبيقات خاصة لنوعين من الأغذية شائعي التداول بدول الوطن العربي وهما التمور والبطاطس. يتعلق الفصل الأخير بالجوانب الإقتصادية لإنشاء وتشغيل مخازن التبريد لتحديد قيمتها المضافة ولزيادة جدواها بما يعود بالنفع.

نأمل أن يساهم هذا الجهد في زيادة الغذاء المتاح في الوطن العربي من خلال الحد من الفاقد بفعل تطبيق سلسلة تبريد رصينه ومحكمة وهو ما سيساعد على تحسين الأمن الغذائي في منطقتنا. نأمل أيضا أن يكون هذا المؤلف بداية لمجموعة من المؤلفات التي تلبي أحتياجات كافة العاملين في قطاع تداول الأغذية بهدف نشر الوعي وبما يعود بالنفع علي مجتمعاتنا العربية وعلى أقتصاديات دوله وعلى صحة ورفاهية مواطنيه وعلى الله قصد السبيل.

المؤلفان

أ.د. عاطف عبد المنعم الأنصاري
أ.د. الهادي يحي كازوز

## أ.د. عاطف عبد المنعم الأنصاري

أستاذ بقسم الهندسة الزراعية جامعة الإسكندرية واستشاري التبريد الصناعي وتقنيات ما بعد الحصاد. بعد دراسة للدكتوراه في جامعة كاليفورنيا دافيس عمل في تطوير العديد من مشاريع تبريد الحاصلات البستانية في مصر والدول العربية حيث قدم مجموعة من التقنيات الحديثة سواء في مجال التبريد السريع أو الخزن المبرد. من خلال عضويته بالعهد الدولي للتبريد بالأمونيا طور العديد من برامج الصيانة والتدريب للمشتغلين في هذا المجال بالوطن العربي. قام بنشر العديد من البحوث في الدوريات العالمية ذات الصلة.

# أ.د. الهادي يحي كازوز

المستشار الإقليمي للصناعات الزراعية والبنية التحتية بمنظمة الأغذية والزراعة (الفاو) التابعة للأمم المتحدة، بكالوريوس من جامعة طرابلس وماجستير من جامعة كاليفورنيا ودكتوراه من جامعة كورنيل. شغل كذلك وظائف أستاذ وباحث علمي أول في الغذاء والتغذية البشرية في عدة جامعات ومراكز بحثية في المكسيك وأمريكا وليبيا ورئيس قسم تكنولوجيا الغذاء في مركز ابحاث الغذاء والتنمية في المكسيك. قدم أكثر من 300 محاضرة بدعوة من العديد من المؤسسات والحكومات في أكثر من 50 بلدا في أمريكا الشماليه، أمريكا الوسطى وأمريكا الجنوبية وأوروبا وآسيا وأفريقيا. نظم وأشرف على دورات وبرامج تدريبية مكثفة للمؤسسات والشركات والمنتجين والموزعين والمصدرين والموظفين الحكوميين في عدة بلدان في أربع قارات. نشر 17 كتابا باللغة الإنجليزية والأسبانية والعربية، وأكثر من 60 فصلا وأكثر من 250 بحث علمي وتقني في مجلّات علمية عالمية. مستشار لعدة منظمات دولية وشركات وحكومات. عضو في منظمات دولية عديدة مثل أكاديمية نيويورك للعلوم، الأكاديمية المكسيكية للعلوم، اللجنة الإتحادية المكسيكية للحماية من المخاطر الصحية، اللجنة التوجيهية في مجال العلوم الأساسية في مجلس العلوم والتكنولوجيا في المكسيك، الجمعية العالمية للبحاث والعلماء وغيرهم. عضو في عدة لجان للتقييم العلمي والتقني في عديد من بلدان العالم. عضو في لجان التحرير والتحكيم في 14 مجلة علمية دولية. منظم وعضو في لجان تنظيم للعديد من اللقاءات العلمية والتقنية الدولية.

## المحتويات


| الموضوع | رقم الصفحة |
|---|---|
| **الفصل الأول: العوامل المؤثرة على جودة المحاصيل البستانية** | **1** |
| الملخص | 1 |
| مقدمة | 1 |
| درجة الحرارة | 1 |
| التأثيرات الضارة لدرجات الحرارة العالية | 2 |
| الرطوبة النسبية | 4 |
| عملية التنفس | 6 |
| الجو الهوائى المعدل أو المتحكم فيه | 7 |
| عمليات الإنضاج | 7 |
| الإصابات الميكانيكية | 7 |
| الضوء | 8 |
| الخلاصة | 9 |
| **الفصل الثانى: السيكروميتري والمنتجات سريعة التلف** | **10** |
| الملخص | 10 |
| مقدمة | 10 |
| ماذا يحدث عند تبريد المنتجات الطازجة | 11 |
| الخريطة السيكروميترية | 11 |
| تأثير متغيرات السيكروميتري على الحاصلات سريعة التلف | 14 |
| درجة الحرارة | 14 |
| ضغط بخار الماء | 16 |
| درجة حرارة نقطة الندى | 16 |
| تغير حالة الرطوبة من سائل إلى بخار | 17 |
| قياس الخواص السيكروميترية | 17 |
| درجة الحرارة الجافة | 18 |
| درجة الحرارة المبتلة | 19 |
| الرطوبة النسبية | 20 |
| كيفية الحصول علي رطوبة مرتفعة داخل مخازن تبريد الخضروات والفاكهة | 20 |
| الخلاصة | 21 |
| **الفصل الثالث: أساسيات تبريد الحاصلات البستانية** | **22** |
| الملخص | 22 |
| مقدمة | 22 |
| الحرارة وتدفقها | 22 |
| درجة الحرارة | 22 |
| البرودة | 22 |
| تأثيرالحرارة والضغط | 23 |
| الحرارة الكامنة | 23 |
| الحرارة المحسوسة | 23 |
| السعة التبريدية | 23 |
| وسيط التبريد | 23 |
| دائرةالتبريد الميكانيكية بالتمدد المباشر | 25 |
| عيوب ومميزات نظام التمدد المباشر | 25 |
| نظم التبريد التجاري | 27 |
| نظم التبريد الثانوية | 27 |
| مقارنة نظم التبريد التجاري والصناعي | 29 |
| التبريد التبخيري | 30 |
| التبريد أثناء النقل | 32 |

| الموضوع | رقم الصفحة |
|---|---|
| الخلاصة ..... | 33 |
| **الفصل الرابع: نظم التبريد.....** | **34** |
| الملخص..... | 34 |
| مقدمة..... | 34 |
| خدمات إضافية..... | 35 |
| درجة الحرارة..... | 35 |
| الرطوبة ..... | 36 |
| عمليات تدوير الهواء ..... | 37 |
| عمليات التهوية..... | 38 |
| التبريد..... | 39 |
| نظم تغذية نظام التبريد ..... | 40 |
| المبخرات..... | 41 |
| الضواغط ..... | 42 |
| المكثفات..... | 43 |
| وسائط التبريد..... | 44 |
| نظم التحكم..... | 45 |
| الخلاصة ..... | 45 |
| **الفصل الخامس: التبريد السريع للحاصلات البستانية.....** | **46** |
| الملخص..... | 46 |
| مقدمة..... | 46 |
| لماذاعملية التبريد السريع عملية مستقلة؟ ..... | 47 |
| الفترة الزمنية لعملية التبريد السريع ..... | 47 |
| التبريد في مخازن أوغرف التبريد ..... | 49 |
| التبريد السريع باستخدام الهواء المدفوع ..... | 51 |
| العبوات المتوافقة مع نظم التبريد بدفع الهواء..... | 52 |
| تصنيف طرق التبريد بدفع الهواء..... | 53 |
| النظام الجاف ..... | 53 |
| النظام المبتل (الرطب)..... | 56 |
| التصنيف وفق طرق سريان الهواء ..... | 58 |
| طريقة الأنفاق ..... | 58 |
| الحائط البارد..... | 58 |
| التبريد المائي..... | 59 |
| المبردات المائية من نوع الرش ..... | 59 |
| المبردات المائية من النوع المغمور ..... | 61 |
| نظم التبريد للمبردات المائية ..... | 61 |
| السعة الإنتاجية للمبردات المائية ..... | 63 |
| أزمنة التبريد المائي ..... | 63 |
| درجات حرارة الماء..... | 64 |
| العبوات..... | 64 |
| النظافة والإعتبارات الصحية..... | 65 |
| التبريد بالثلج..... | 66 |
| التبريد بالتفريغ..... | 67 |
| تبريد ما قبل التعبئة..... | 68 |
| إختيارطريقة التبريد ..... | 68 |
| الخلاصة ..... | 69 |
| **الفصل السادس: الجو الهوائى المعدل والمتحكم فيه .....** | **72** |
| الملخص..... | 72 |
| مقدمة..... | 72 |
| مميزات تقنية الجوالهوائي المعدل أوالمتحكم فيه..... | 73 |

| الموضوع | رقم الصفحة |
|---|---|
| عيوب تقنية الهواء الجوي المعدل أو المتحكم فيه ..... | 73 |
| طرق تطبيق تقنية الهواء الجوي المعدل ..... | 74 |
| طرق التحكم من خلال إضافة النيتروجين وثاني أكسيد الكربون ..... | 75 |
| أولا :التحكم في الأكسجين..... | 75 |
| ثانيا :التحكم في ثاني أكسيد الكربون ..... | 75 |
| إضافة أول أكسيد الكربون وإزالة الإيثيلين..... | 75 |
| التخزين في غرف الضغط المنخفض ..... | 76 |
| الجو الهوائي المعدل التي تحدثها الثمار نفسها ..... | 76 |
| التخزين في الأفلام البلاستيكية ..... | 76 |
| نموذج بسيط لنظام الجو الهوائي المتحكم فيه ..... | 77 |
| مخازن الجو الهوائي المتحكم فيه ..... | 77 |
| حجم الغرف..... | 77 |
| الجدران والأسقف ..... | 78 |
| الأرضيات ..... | 78 |
| الأبواب ..... | 78 |
| تحريرأوتفريغ الضغط ..... | 79 |
| إختبارالضغط..... | 79 |
| الجوالهوائي المعدل..... | 80 |
| معدات التبريد ..... | 80 |
| نظم المراقبة ..... | 80 |
| إعتبارات الأمان ..... | 81 |
| المواصفات العامة التي يجب توافرها في غرف تخزين الهواء الجوي المتحكم فيه والمعدل..... | 81 |
| الخلاصة ..... | 82 |
| **الفصل السابع: حسابات الأحمال الحرارية لعمليات التبريد السريع والخزن المبرد .....** | **83** |
| الملخص..... | 83 |
| مقدمة..... | 83 |
| مكونات نظام التبريد السريع بدفع الهواء ..... | 84 |
| المصادرالحرارية..... | 84 |
| حساب الحمل الحراري للمنتج..... | 86 |
| سبعة أثمان الزمن التبريدي ..... | 86 |
| حسابات الحمل الحراري للمروحة..... | 87 |
| الأحمال الحرارية الأخرى ..... | 89 |
| مثال تطبيقي لحسابات السعة التبريدية ..... | 91 |
| غرف التبريد العادية ومخازن البطاطس..... | 93 |
| الخلاصة ..... | 93 |
| **الفصل الثامن: النقل المبرد .....** | **94** |
| الملخص..... | 94 |
| مقدمة..... | 94 |
| النقل في العربات المكشوفة ..... | 95 |
| عربات النقل المبرد الخاصة بالطرق السريعة..... | 96 |
| دفع الهواء..... | 100 |
| الجوالهوائي المعدل أوالمتحكم فيه ..... | 102 |
| نظم التعليق..... | 102 |
| الحمولات المختلطة ..... | 103 |
| توصيات التشغيل الأمثل لعربات النقل المبردة ..... | 106 |
| حاويات النقل البحري..... | 108 |

| الموضوع | رقم الصفحة |
|---|---|
| توصيات التشغيل الأمثل لحاويات البحر المبردة | 110 |
| سفن النقل البحري | 111 |
| الشحن الجوي | 113 |
| إستمارة تحليل تكاليف النقل | 115 |
| الخلاصة | 117 |
| **الفصل التاسع: مخططات مخازن التبريد** | **118** |
| الملخص | 118 |
| مقدمة | 118 |
| التوسع المستقبلي | 118 |
| العناصر الوظيفية للمشروع | 119 |
| الخدمات المساندة | 120 |
| رصيف الإستلام والشحن | 120 |
| بوابات المشروع | 120 |
| نظم التداول الداخلي | 121 |
| خدمات الماء والصرف | 121 |
| تهوية الأسقف | 121 |
| الممرات الداخلية | 121 |
| عزل الأرضيات | 121 |
| منسوب المشروع | 121 |
| غرفة المحركات | 122 |
| مساحات التخزين | 123 |
| المرافق الصحية | 123 |
| إحتياطات السلامة | 123 |
| مخازن المواد الكيمائية ومواد التغليف والتعبئة | 124 |
| مراحل تطوير المخطط | 125 |
| الخلاصة | 125 |
| **الفصل العاشر: الإتجاهات الحديثة في مجال التخزين المبرد** | **126** |
| الملخص | 126 |
| مقدمة | 126 |
| أولا :التبريد بغاز ثاني أكسيد الكربون | 126 |
| ثانيا :الثلج السائل | 129 |
| ثالثا :مخازن التبريد عالية الإرتفاع آلية التشغيل | 132 |
| الخلاصة | 135 |
| **الفصل الحادى عشر: نظم التداول داخل مخازن التبريد** | **136** |
| الملخص | 136 |
| مقدمة | 136 |
| 1-التخزين السائب أوالصب | 136 |
| 2-التخزين في طبليات معدنية | 137 |
| 3-التخزين في الصناديق الخشبية الكبيره Bin | 137 |
| 4- نظام الأرفف الثابتة | 138 |
| 5- الأرفف ذات الممرالداخلي من جهة واحدة | 138 |
| 6- الأرفف ذات الممرالداخلي /الممرات الداخليه من الجهتين | 139 |
| 7- الأرفف المتدفقة | 139 |
| 8- الأرفف المتحركة | 141 |
| 9- الأرفف أوتوماتيكية الحركة بالكامل | 142 |
| مقارنة بين بعض نظم التداول | 143 |
| الخلاصة | 144 |
| **الفصل الثانى عشر: الصيانة والتشغيل** | **145** |

| الموضوع | رقم الصفحة |
|---|---|
| الملخص | 145 |
| مقدمة | 145 |
| تعريف الصيانة | 145 |
| أ- أنواع الصيانة | 145 |
| 1- الصيانة المخطط لها | 145 |
| 2- الصيانة غير المخطط لها | 146 |
| ب- مشاكل قطاع التخزين المبرد فى الوطن العربى | 146 |
| أولا: مشاكل الصيانة | 146 |
| 1- قدم مكونات نظم التبريد | 146 |
| 2- تآكل المكونات | 147 |
| 3- إنسداد النظام وتلوث النشادر | 147 |
| 4- تدهور البنية الأساسية | 147 |
| 5- إجراءات السلامة | 148 |
| 6- تغير الظروف الفعلية | 148 |
| 7- ندرة قطع الغيار | 149 |
| 8- التلوث بالغازات الغير قابلة للتكثيف | 149 |
| ثانيا: مشاكل تشغيلية | 149 |
| 1- حالة الزيت | 149 |
| 2- العمالة الغير مدربة | 150 |
| 3- تسريب النشادر ووسطاء التبريد الأخرى | 150 |
| 4- عزل تحت الإرضيات | 151 |
| 5- إهتزاز المعدات | 151 |
| 6- إذابة الصقيع | 151 |
| 7- صمامات آمان التنفيس | 152 |
| 8- الطاقة المستهلكه | 152 |
| 9- نظم إطفاء الحريق | 153 |
| 10- العلامات الإرشادية | 153 |
| الخلاصة | 153 |
| **الفصل الثالث عشر: أمن وسلامة مخازن الأغذية** | **154** |
| الملخص | 154 |
| مقدمة | 154 |
| البكتريا | 154 |
| الفطريات | 154 |
| أولا: الحوادث العامة | 155 |
| ثانيا: سلامة المنتج | 156 |
| ثالثا: الوقاية من الحشرات والآفات الأخرى | 157 |
| رابعا: غسيل الصناديق الفارغة | 157 |
| خامسا: معدات التداول | 157 |
| سادسا: طرق إطفاء الحريق | 157 |
| سابعا: الحد من الحرائق | 157 |
| ثامنا: إدارة النفايات | 158 |
| تاسعا: النظافة الشخصية | 158 |
| عاشرا: التتبع | 158 |
| غسيل مخازن التبريد | 158 |
| التنظيف | 159 |
| التطهير | 159 |
| الشطف | 160 |
| التجفيف | 162 |

| الموضوع | رقم الصفحة |
|---|---|
| الفترات الزمنية ما بين عمليات التنظيف ..... | 162 |
| التخزين قصير المدى ..... | 162 |
| التخزين طويل المدى ..... | 162 |
| الخلاصة ..... | 162 |
| **الفصل الرابع عشر: تطبيقات خاصة للبطاطس والتمور .....** | **163** |
| الملخص ..... | 163 |
| مقدمة ..... | 163 |
| أولا : التخزين المبرد للبطاطس ..... | 163 |
| الخيارات الفنية لنظم التخزين ..... | 165 |
| أولا: التصنيف وفقا لطريقة خزن وتداول الدرنات ..... | 165 |
| 1- التخزين السائب أو الصب Bulk ..... | 165 |
| 1.1-التخزين في طبليات معدنية ..... | 165 |
| 2.1- التخزين في صناديق كبيرة Bin ..... | 166 |
| ثانيا: التصنيف وفقا لطريقة التهوية ..... | 166 |
| 1- التهوية الجانبية ..... | 166 |
| 2- التهوية الأرضية ..... | 167 |
| 3- الوحدات المدمجة ..... | 167 |
| ثالثا: تعقيم التمور ..... | 169 |
| المعاملة بالتجميد بغرض تعقيم التمور ..... | 171 |
| متطلبات استخدام تقنية تعقيم التمور بالتجميد ..... | 173 |
| مميزات تقنية تعقيم التمور بالتجميد ..... | 173 |
| الخلاصة ..... | 173 |
| **الفصل الخامس عشر: إقتصاديات مشاريع التخزين المبرد للحاصلات البستانية .....** | **174** |
| الملخص ..... | 174 |
| مقدمة ..... | 174 |
| المرحلة الأولى: الأهداف الأولية ودراسة الجدوى ..... | 175 |
| المرحلة الثانية: خطة العمل وإختبار المفهوم ..... | 176 |
| المرحلة الثالثة: تنفيذ المشروع على نطاق كامل ..... | 179 |
| مقارنة عروض الأسعار وفقا لتحليل دورة العمر التشغيلي ..... | 179 |
| التكاليف الثابتة ..... | 180 |
| التكلفة الرأسمالية ..... | 184 |
| تكاليف التأمين ..... | 187 |
| الكهرباء لكل من نظام التهوية والتبريد ..... | 187 |
| الوقود والغاز الطبيعي ..... | 187 |
| الصيانة ..... | 188 |
| تكلفة تشغيل الروافع الشوكية للتنزيل والتحميل ..... | 188 |
| إدارة مخازن التبريد ..... | 188 |
| حساب تكاليف التشغيل الكلية للمستودعات ..... | 188 |
| الخلاصة ..... | 190 |
| **المراجع .....** | **191** |
| **الملاحق .....** | **196** |

## الفصل الأول

# العوامل المؤثرة على جودة المحاصيل البستانية


### الملخص

يجب أن تكون الفاكهة الطازجة والخضروات والزهور في حالة ونوعية ممتازة عند الحصاد وذلك للحصول على أقصى فترة صلاحية وأفضل جودة ممكنه حيث أنه ولغالبية الحاصلات البستانية والخضروات لا يمكن تحسين جودتها بعد الحصاد بل يمكن فقط الحفاظ على حالتها تلك. ينبغي أن تحصد تلك المنتجات عند طور النضج الملائم لها، يجب أيضا أن تتم عمليات الحصاد في أجواء ملائمة من حيث درجة الحرارة وتفادي أي إصابات ميكانيكيه أثناء عمليات التداول والنقل. تؤثر درجه الحرارة بشكل كبير على الجودة لذا يجب خفض درجة حرارة تلك المنتجات من خلال سحب حرارة الحقل منها بأقصى سرعة ممكنه عقب الحصاد من خلال عمليه التبريد السريع. يمكن لتلك المنتجات الطازجة أن تتدهور بفعل الإنهيار الفسيولوجي بسبب عمليات طبيعية مثل النضج الزائد ووصولها لمرحلة الشيخوخة أو بفعل الجفاف وفقدان المياه، أو لإصابتها بأضرار البرودة بفعل تعرضها لدرجات حرارة متدنية أو غير ملائمة بالإضافة للعديد من العوامل الأخرى. تتأثر جميع هذه العوامل وتتفاعل مع درجات الحرارة.


### مقدمة

تتعرض المحاصيل البستانية وزهور القطف للتلف والتدهور بنسب متفاوته خلال مراحل إعدادها ونقلها وتداولها وتخزينها بدءاً من الحقل وفور عملية حصادها ووصولاً إلى يد المستهلك أو المُصنّع. يرجع سبب سرعة تلف وتدهور هذه المحاصيل إلى كون غالبيتها سريعة التلف نظرا لمحتواها العالي من الرطوبة والذي يصل في بعض الأحيان لأكثر من 95 % من وزنها الرطب بالإضافة لمعدل نشاطها الفسيولوجي الداخلي المرتفع وخاصة معدل التنفس، إضافة لتعرضها المباشر لفترات طويلة لحرارة الشمس في الحقل أو لدرجات حرارة منخفضة وبخاصة التيارات الهوائية الباردة. فورعملية القطف تفقد الثمار ما بين 5 أو 10 % أو أكثر من وزنها بسهولة حيث تبدأ عملية الذبول وسرعان ما تصبح غير صالحة للاستعمال. لذا يجب العمل على الحفاظ على جودة تلك الثمار وإطالة عمرها التسويقي من خلال الحد من فقدانها للمياه وتوفير الأجواء الملائمة لهذا.

وبصفة عامة تؤدي العديد من العوامل الخارجية المحيطة بالمحاصيل البستانية عندما تكون غير مناسبة إلى تلف وتدهور جودة هذه المحاصيل وسرعة فسادها، مثل درجات الحرارة المرتفعة أو المنخفضة، الرطوبة النسبية، معدلات الأكسجين وثاني أكسيد الكربون الغير ملائمة بفعل سوء عملية التهوية في الأجواء المحيطة بالثمار وتأثيرات غاز الإيثيلين.

يضاف لما سبق ما يمكن أن تتعرض له تلك الثمار من إصابات ميكانيكية أثناء النقل بفعل الإهتزازات والتعبئة الغير ملائمة مما يضاعف من سرعة التدهور والتلف. ونظرا لكون معظم المحاصيل البستانية حساسة وتتعرض للتدهور السريع ما لم تتوافر لها العناية والحماية الكافيتين بعد حصادها بداية من الحقل وحتى نقطة وصولها للمستهلك ولضمان توافر ثمار ذات جودة عالية خالية تماماً من الأضرار ، فإنه من الأهمية بمكان دراسة هذه العوامل دراسة مستفيضة لمعرفة مدى تأثيراتها المختلفة وإمكانية التغلب عليها وأيضاً معرفة طرق ووسائل وتقنيات التحكم فيها والسيطرة عليها.

### درجة الحرارة

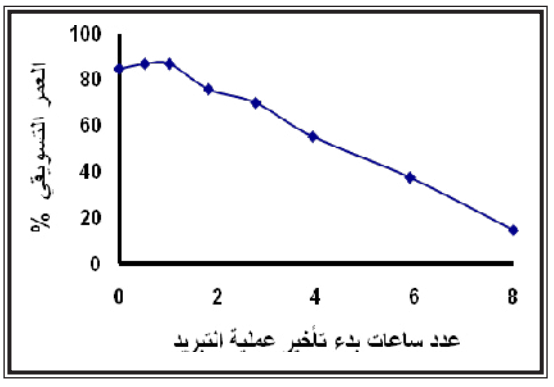
تعتبر درجة الحرارة العامل الأكثر أهمية من حيث تأثيرها على معدل التدهور في جودة المحاصيل البستانية بعد حصادها لأن الثمار الطازجة كائنات حية تواصل تنفسها بشكل طبيعي بعد حصادها حيث ينتج عن ذلك طاقة (حرارة) وماء وثاني أكسيد الكربون. هذه الحرارة الناتجة من عملية التنفس إضافة إلى ما تكتسبه من حرارة نتيجة تعرضها المباشر لأشعة الشمس تُعجل بتدهور هذه الثمار وتدني جودتها وتزيد نسبة الفاقد منها.

تجدر الإشارة هنا إلى أن تعرض الثمار ولو لفترة قصيرة (بضع ساعات) لدرجات حرارة عالية أو منخفضة شديدتين، يمكن أن يسبب نقص ملحوظ في عمرها التسويقي. في أغلب الأحيان قد لا تظهر أعراض التدهور مباشرة ولكن المستهلك هو الذي يكتشفها لاحقا. من المعروف أنه يجب التخلص من الحرارة غير المرغوب فيها بعد الحصاد مباشرة في مدة تتراوح ما بين 3 إلى 24 ساعات بعد الحصاد وفقا لنوع المحصول لضمان المحافظة على الجودة وخفض معدل التدهور للمحاصيل البستانية بعد حصادها. في بعض المحاصيل الإستوائية وشبه الإستوائية يمكن أن تمتد تلك الفترة إلى 24 ساعة. من المعروف أن كل تأخر بمقدار ساعة واحدة في بدء سحب حرارة الحقل من المنتج يعادل فقد بمقدار يوم واحد من العمر التسويقي للمنتج.

## التأثيرات الضارة لدرجات الحرارة العالية

لدرجة الحرارة المرتفعة، الناتجة عادة من تعرض الثمار إما لضوء شمس مباشر أو تيارات هواء حارة في الحقل أو بعد ذلك، تأثيراً سيئاً على سرعة تلف وتدهور المحاصيل البستانية بعد حصادها. فهي تؤثر بصفة مباشرة على معدلات التنفس، إنتاج غاز الإيثيلين ($C_2H_4$)، فقد الرطوبة، إنتشار الفساد (التعفن)، وزيادة سرعة التدهور. من التأثيرات الأخرى لدرجات الحرارة العالية هي التغيير في حالة بعض الإنزيمات الضرورية لحياة النبات والثمار. من هذه الأضرار فقد في لون الثمرة وظهور لون مائي نصف شفاف ويطلق عليها أحياناً بثور (Boiled) كما يحدث في الطماطم والموز. والضرر الأخر هو تحول اللون الأحمر في الطماطم إلى اللون البرتقالي، وهذا يحدث نتيجة تعرض ثمار الطماطم لفترات درجات حرارة عالية بسبب أشعة الشمس الحارة التي تسبب منع تكوين اللون الأحمر.

تنفس الثمار وما ينتج عنه من فقد للمياه والمخزون السكري بداخل الثمار يحدث في كل خلايا الثمرة سواء في الليل أو النهار وفي وجود الضوء أو عدمه. إن زيادة درجة الحرارة بمقدار 10°م فوق درجة الحرارة المثلى ستتسبب في زيادة معدل التدهور إلى الضعفين أو ثلاثة أضعاف بسبب تسريعها لعملية التنفس، فللبروكلي وعند درجة حرارة 25.6°م يكون معدل التنفس أسرع بخمسة وثلاثون ضعفا مقارنة بدرجة حرارة الصفر المئوي. وفي ثمار الفراولة فإن تأخير عملية التبريد السريع لها بساعتين يؤدي لفقدان 20 % من قيمتها التسويقية وفقا لشكل رقم (1.1). خفض درجة حرارة الثمار يؤدي إلى إبطاء معدل عملية الأيض (Metabolism) وبالتالي إطالة العمر التسويقي للثمار.




**شكل (1.1)**: العلاقة بين القابيلة للتسويق والتأخر في بدء عملية التبريد لثمار الفراولة (California Strawberry Commission, 2008).

يوضح جدول (1.1) تأثير درجة الحرارة على معدل التدهور لبعض المنتجات الغير حساسة لأمراض الصقيع أو البرودة حيث أن لكل زيادة مقدارها 10 درجات مئوية أعلى من الدرجة الملائمة أو الموصى بها فإن معدل التدهور يتضاعف مرتين أو ثلاث مرات.

**جدول (1.1)**: تأثير درجة الحرارة على معدل التدهور للمنتجات غير الحساسة للبرودة (Kader, 2002).

| درجة الحرارة (°م) | $Q_{10}^*$ المفترض | سرعة عملية التدهور | العمر التسويقي النسبي | نسبة الفقد اليومي |
|---|---|---|---|---|
| صفر | --- | 1.0 | 100 | 1 |
| 10 | 3.0 | 3.0 | 33 | 3 |
| 20 | 2.5 | 7.5 | 13 | 8 |
| 30 | 2.0 | 15.0 | 7 | 14 |
| 40 | 1.5 | 22.5 | 4 | 25 |

$$Q_{10}^* = \frac{\text{معدل التدهور عند درجة حرارة (°م) + 10 °م}}{\text{معدل التدهور عند درجة حرارة (°م)}}$$

كلما زادت فترات التعرض وكانت هناك أضراراً حادة، فإن الأعراض سوف تتطور. عند إنخفاض درجة الحرارة عن الصفر المئوي، تتعرض الثمار لأضرار التجميد وبخاصة مكونات الخلايا. الخضروات الورقية تتجمد عنـــد -0.5°م، في حين تتجمد ثمار الفاكهة السكرية عند درجات حرارة تتراوح بين -2 و-5°م.

أضرار درجات الحرارة المنخفضة الأكثر شيوعاً هي تلك الناتجة عن عملية التبريد، ويتوقف مدى تأثير هذه الأضرار على حساسية المحصول للبرودة ودرجة الحرارة ومدة التعرض. تعتبر المنتجات الإستوائية وشبة الإستوائية الأكثر عرضة لتلك الإضرار بفعل حساسيتها مثل الطماطم، الفلفل، الخيار، المانجو، الموز، والباباي. ومن أعراض هذه الأضرار ظهور تنقر وبقع بنية اللون على ثمار الفاصوليا والطماطم والخيار والباذنجان وزيادة القابلية للإصابة بالأعفان. أحياناً تأخذ بعض أضرار التبريد وقتاً طويلاً حتى يظهر تأثيرها كما في الحمضيات. تؤدي درجات الحرارة المنخفضة أيضاً إلى وجود ظاهرة القلب الأسود في الأناناس وإلى تأخر عمليات الإنضاج لبعض الثمار مثل الموز.

لتجنب تعريض الحاصلات البستانية المختلفة لأضرار البرودة عادة ما يتم الإستعانة ببعض التجهيزات (حساسات لدرجة الحرارة) سواء في محطات التبريد السريع أو في مستودعات التخزين المبرد للخزن طويل المدى. في عملية التبريد السريع يتم إيقاف المراوح عند قرب الوصول لدرجات حرارة معينة يتم تحديدها مسبقا وكذلك الحال في التخزين بعيد المدى حيث يمكن ومن خلال أجهزة التحكم إنذار المشغل بغرض إتخاذ ما يلزم.

**جدول (2.1)**: أمثلة لبعض درجات الحرارة التي تحدث عندها أضرار برودة للمنتج (Thompson *et el*., 2008).

| المنتج | درجة الحرارة المثلى | الرطوبة النسبية | درجة الحرارة التي تسبب الضرر | أعلى درجة تجمد | أطول عمر تخزيني |
|---|---|---|---|---|---|
| الخيار | 12.8-10 °م | 85-90 % | 10 °م | 0.5- °م | 16-6 أسبوع |
| الباذنجان | 12.3-10 °م | 90-95 % | 10 °م | 0.78- °م | 2-1 أسبوع |
| الجوافة | 10-5 °م | 90-98 % | 2.2 °م | --- | 3-2 أسبوع |
| المانجو | 12.8 °م | 85-90 % | 10 °م | 1.38- °م | 3-2 أسبوع |
| - بطاطس الحصاد المبكر | 15-10 °م | 90-95 % | 4.4-3.3 °م | 0.83- °م | 14-10 يوم |
| - بطاطس الحصاد المتأخر | 12.7-4.4 °م | 90-98 % | 4.4-3.3 °م | 0.61- °م | 10 -5شهر |
| - الطماطم خضراء صلبة<br>حمراء ناضجة | 12.8-10 °م<br>10-7.2 °م | 90-95 %<br>85-90 % | 12.8 °م<br>7.2 °م | 0.5- °م<br>0.5- °م | 5 -2 أسبوع<br>3-1 أسبوع |

يقدم جدول (2.1) أمثلة لبعض درجات الحرارة التي تحدث عندها أضرار برودة للمنتج وأيضا يقدم الجدول درجات حرارة التخزين الآمنة لتلك المنتجات. يلاحظ أن المنتجات الغير حساسة لدرجة الحرارة يجب تبريدها لقرب درجة تجميدها، فبالرغم من أن درجة تجمد المياه هي صفر إلا أنه ونظرا للمحتوى العالي من المواد الصلبة الذائبة للفاكهة والخضروات فإنها تتجمد عند درجات حرارة أقل من الصفر المئوي.

كما ذكرنا سابقا فإن درجة الحرارة هي أحد أهم العوامل التي تؤثر سلبا على المنتجات البستانية حيث يجب العناية بها للحفاظ على الإنتاج والإرتفاع بمستوى الجودة وتقليل نسبة الفاقد. يحتاج ذلك إلى مراعاة النقاط التالية:

1- أن يتم الحصاد في الأوقات الباردة من النهار ومبكرا عقب بزوغ أول ضوء، وأوقات الصباح عادة هي الأفضل. توجد كذلك للحصاد الليلي تجارب رائدة وخاصة لمحصول عنب المائدة حيث تمر عمالة ماهرة نهارا وتضع علامات ضوئية عاكسة علي العناقيد الجاهزة للحصاد ومن ثم يسهل حصادها ليلا من قبل عمالة القطف.

2- مراعاة عدم تعرض الثمار بعد حصادها لأشعة الشمس وسرعة نقلها إلى مكان ظليل في الحقل لحين وصولها إلى محطتها الأخيرة.
3- تغطية العربات المحملة أثناء نقل المنتجات لتقليل الإصابة بلفحة الشمس (شكل 2.1).
4- تبريد المنتجات مبدئياً بأسرع ما يمكن ويراعى ألا تزيد الفترة الزمنية ما بين الحصاد والتبريد المبدئي عن ساعتين إلى ثلاث ساعات على الأكثر وذلك وفقا لنوع المحصول.
5- المحافظة على درجة الحرارة المثلى أثناء عمليات التخزين والنقل.

**شكل (2.1)**: تظليل عنب المائدة أثناء نقلة وانتظاره لعملية الفرز والتدريج.

## الرطوبة النسبية

تتأثر المحاصيل البستانية بعد حصادها بالرطوبة في الجو المحيط حيث يعمل نقص الرطوبة على سرعة فقد الماء من الثمار وبالتالي التأثير على جودتها والإسراع في عمليات التدهور والتلف بها. إن فقد الثمار للماء يؤدي إلى ذبولها وضمورها وفقدان لونها البراق مما ينعكس على فقدها لميزة هامة عند تسويقها. يعتبر الفقد في الماء من ثمار المحاصيل البستانية بعد حصادها فقداً كمياً في المحصول يُستدل عليه بفقد المحصول لجزء من وزنه وهذا بمثابة خسارة نقدية تنعكس على المبيعات والتي تعتمد على القدرة في الحفاظ على أكبر كمية ممكنة من الماء في الثمرة عند وصولها إلى يد المستهلك.

يتوقف فقدان الثمار لمحتواها المائي على العجز في ضغط البخار بين الثمار والجو المحيط بها. ينتقل بخار الماء من الثمار (منطقة ضغط بخار مرتفع) إلى الجو المحيط بها (منطقة ضغط بخار منخفض)، وكلما كان العجز كبيراً كلما زاد معدل فقد الماء وبالتالي زاد الفقد في وزن الثمار وجودتها. للحفاظ على جودة الثمار بعد حصادها يجب الحفاظ على العجز في ضغط البخار عند أقل مستوى له عن طريق رفع الرطوبة للجو المحيط بالثمار. يمكن التغلب على إنخفاض الرطوبة النسبية للجو المحيط بالثمار بأحد الطرق التالية أو كلها:

1- استخدام المرطبات (Humidifiers).
2- تنظيم حركة الهواء والتهوية تبعاً لحمل الثمار في مخازن التبريد.
3- ترطيب أرضية المخازن المبردة بالمياه.
4- المحافظة على أقل فارق بين درجة حرارة مبخرات التبريد ودرجة حرارة الهواء المار بها.
5- تغليف الثمار بالورق الملائم أو بالأفلام البلاستيكية الرقيقة أو عن طريق تبطين العبوات عند تعبئة الثمار.

عندما يتعلق الأمر بخفض الرطوبة النسبية حول الثمار وعند ظروف محددة ولمنتجات مختارة مثل البصل والبطاطس، يمكن استخدام بعض المواد الكيمائية التي لها خاصية إمتصاص الرطوبة مثل السيليكاجيل (Silica Gel). زيادة معدلات الرطوبة في الجو المحيط حول الثمار لدرجة التشبع يزيد من فرصة إصابتها بالأمراض الفطرية أو البكتيرية مما يجعلها عرضة للفساد وسرعة التدهور والتلف ولذا يجب تفادي ترذيذ قطرات الماء المباشرة على الثمار أو عبواتها.

وبصفة عامة، تحتفظ معظم الفاكهة بجودتها العالية عند رطوبة نسبية في حدود من 85 إلى 95 % وفي الحدود عند 90 إلى 98 % للخضروات ما عدا البصل والثوم الجافين الذين يجب حفظهما عند رطوبة نسبية من 65 إلى 75 %. يفضل حفظ الخضروات الجذرية عند 90 % رطوبة نسبية.

يمكن التنبؤ بعملية الفقد في الوزن من خلال تقدير مجموعة من العوامل هي:

1- الفارق في ضغط البخار بين المنتج وبين الهواء المحيط به.

2- معامل النتح (Transpiration rate) بالنسبة للمنتج.
3- الفرق في درجة الحرارة.
4- الرطوبة النسبية للجو المحيط.

العاملين الآخرين تضمهم قيمة واحدة يطلق عليها العجز أو الفرق في ضغط بخار الماء (Vapor Pressure Deference, VPD) وهو عبارة عن الفارق بين ضغط البخار داخل المنتج مطروحا منه ضغط بخار الهواء المحيط. كلما زادت قيمة هذا الفارق كلما زادت قيمة الفقد في الماء ومن ثم الوزن ويفترض عادة أن ضغط بخار الماء داخل المنتج يكون مشبعا أى 100 % رطوبة نسبية. يتم حساب ضغط البخار من خلال العلاقة التالية:

$$V_p = \frac{w \times P_a}{0.622}$$

حيث Vp هي ضغط البخار بوحدات الباسكال $(Pa)$، $w$ هي نسبة الرطوبة (كجم بخار ماء لكل كجم هواء جاف والمتحصل عليها من الخريطة السيكروميترية والتي سيتم التعرض لها تفصيليا في الفصل التالي). $Pa$ هو الضغط الجوي بوحدات الباسكال. 0.662 هو ناتج قسمة الوزن الجزيئي للماء على الوزن الجزيئي للهواء.

**شكل (3.1)** : ذبول وكرمشة ثمار الفلفل الرومي الملون بفعل تعرضه للهواء الحار والجاف لساعات قليلة.

نسبة الرطوبة للهواء ترتبط مباشرة بدرجة حرارته. الهواء البارد له مقدرة محدودة على حمل الرطوبة (بخار الماء) مقارنة بالهواء الحار أو الساخن وبالتالي تكون قيمة ضغط البخار للهواء البارد منخفضة مقارنة بالهواء الحار والذي تكون قيمة ضغط البخار له أعلى.

عملية التبريد السريع للمنتج لدرجة الحرارة الموصى تخزينه عندها تحد من فقد الماء ومن ثم يقل الفارق في ضغط البخار (VPD) بين المنتج وبين الهواء المحيط. للهواء المشبع داخل المنتج ضغط بخار أعلى مقارنة بالهواء الجاف المحيط بالمنتج. المنتجات الباردة لها ضغط بخار أقل ولذا وعقب تبريد المنتج لدرجة الحرارة الموصى بها فمن الأهمية الحفاظ على رطوبة نسبية عالية في الأجواء المحيطة أثناء عملية الخزن أو النقل.

إن تعريض المنتج لأجواء حارة وجافة ولمدة ساعة واحدة فقط تؤدي لزيادة الفقد في كمية الماء وتقابل فترة أسبوعين من عمره التسويقي الممتاز في حال تخزينه على درجة حرارة ورطوبة ملائمتين. مثال على ذلك الفلفل الرومي الملون الموضح بشكل (3.1).

**مثال**

يتم تقدير الفقد في الوزن الممكن حدوثه عن طريق حساب الفارق في ضغط البخار بين المنتج والهواء المحيط ومن ثم ضرب تلك القيمة في معامل النتح للمنتج (جدول 3.1) وللجزر كمثال على ذلك وفي حالة حفظه على درجة حرارة الصفر المئوي و90 % رطوبة نسبية فإن الفارق في ضغط البخار يكون:

$$V_{carrot} = \frac{0.0038 \times 0.101}{0.622} = 0.000617 MPa$$

حيث 0.0038 هي نسبة الرطوبة للهواء عند الصفر المئوي ورطوبة نسبية مقدارها 100 %.

ضغط البخار للهواء:

$$V_{carrot} = \frac{0.00340 \times 0.101}{0.622} = 0.000552\ MPa$$

حيث 0.0034 هي نسبة الرطوبة للهواء عند الصفر المئوي و90 % رطوبة نسبية. بناء عليه يكون الفقد في الماء كما يلي:

$$(0.000617 - 0.000552)MPa \times 1207\ \text{mg.kg}^{-1}.\text{sec}^{-1}.\text{MPa}^{-1} = 0.0785\ mg.kg^{-1}.sec^{-1}$$

حيث 1207 ميلي جرام/ (كجم . ثانية) هو معامل النتح للجزر المتحصل عليه من جدول (3.1). هذا الرقم يعني فقد 0.68 % من الوزن يوميا حيث يحدث هذا الفقد للجزر غير المغلف وفي حال مرور الهواء البارد عليه. في غالبية الأحوال يتم حماية الجزر عن طريق تغليفه كما في شكل (4.1) ومن ثم يحدث زيادة في نسبة رطوبة الهواء المحيطة بالثمار ليتم الحد من فقد الماء.

## عملية التنفس

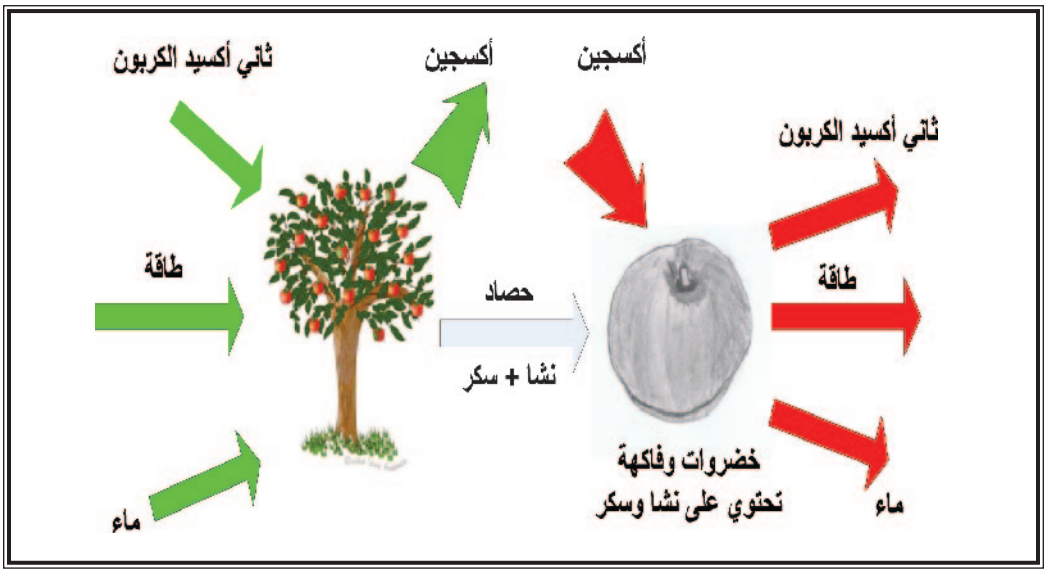
التنفس كما في شكل (5.1) هو عملية حيوية يتم فيها تحويل المركبات العضوية، مثل الكربوهيدرات، البروتين، والدهون المخزنة داخل ثمار المحصول البستاني إلى مواد بسيطة لإنتاج الطاقة اللازمة في وجود الأكسجين وإطلاق ثاني أكسيد الكربون وهي عملية مهمة لإتمام الثمار لجميع الأنشطة الحيوية التي تضمن بقاءها نشطة وحية لأطول فترة.

**جدول (3.1)**: معامل النتح لمنتجات مختارة من الخضروات والفاكهة بترتيب تصاعدي وفقا لقيمة معامل النتح (Thompson *et al.*, 2008).

| المنتج | معامل النتح ميلي جرام/ (كجم. ثانية. ميجا باسكال) | معامل النتح في المراجع |
|---|---|---|
| التفاح | 42 | 100-16 |
| البطاطس | 44 | 171-2 |
| البصل | 60 | 123-13 |
| الكمثرى | 69 | 144-10 |
| البرتقال | 117 | 227-25 |
| العنب | 123 | 254-21 |
| البرقوق | 136 | 221-110 |
| الطماطم | 140 | 365-71 |
| الليمون | 186 | 229-139 |
| الكرنب | 223 | ---- |
| الخوخ | 572 | 2089-142 |
| الجزر | 1207 | 3250-106 |
| الخس | 7400 | 8750-680 |

**شكل (4.1)**: تغليف الجزر للحد من فقد الماء أثناء الخزن المبرد.

ترتبط سرعة تدهور جودة الثمار بمعدل التنفس، فكلما إرتفع معدل تنفس الثمار كلما دخلت مرحلة النضج مبكراً ومن ثم الشيخوخة المبكرة بفعل إستهلاك مخزونها من الطاقة اللازمة لإستمرار حيويتها. لذا يجب تهيئة الظروف المناسبة من درجات الحرارة والرطوبة النسبية بما يقلل من معدل تنفس المحاصيل البستانية إلى أدنى مستوى ممكن للحفاظ على جودتها فترة طويلة. بصفة عامة، يتناسب معدل تدهور المحاصيل البستانية مع معدل تنفسها لذا تكمن أهمية التبريد السريع ودور سلسلة التبريد. سلسلة التبريد تعني عملية التحكم في درجة حرارة الأجواء المحيطة بالمحصول على إمتداد عملية التداول بداية من الحصاد وحتى الوصول للمستهلك النهائي. تتكون سلسلة التبريد من عناصر عديدة تبدأ بالتبريد السريع، الخزن المبرد، النقل المبرد، العرض المبرد والخزن في البرادات المنزلية




**شكل (5.1)**:التنفس في الخضروات والفاكهة كعملية مقابلة للبناء أو التمثيل الضوئي.

## الجو الهوائي المعدل أو المتحكم فيه

يؤدي التركيز المنخفض من الأكسجين أو المرتفع من ثاني أكسيد الكربون حول الثمار إلى إبطاء سرعة التنفس وخاصة عند إنخفاض نسبة الأكسجين نتيجة لتثبيطه للنمو الميكروبي. ويمكن الإستفادة من هذا لتخزين أو نقل الثمار تحت ظروف الجو الهوائي المتحكم فيه Controlled Atmosphere أو المعدل Modified Atmosphere لحدود معينة بحيث لا تقل نسبة الأكسجين ولا تزيد نسبة ثاني أكسيد الكربون للدرجة التي تحول التنفس في المحصول إلى تنفس لاهوائي ليتخمر ويفسد. زيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون عن حد معين تؤدي إلى سمية الثمار. تعتبر تلك التقنية مصاحبة لعملية التخزين المبرد والنقل المبرد ولا تستخدم بصورة منفردة ولا تعتبر بديلا عنهما. سيتم التعرض لهذه التقنية لاحقا وبالتفصيل في الفصل السادس.

## عمليات الإنضاج

يعتبر غاز الإيثيلين ($C_2H_4$) أبسط المركبات العضوية التي تؤثر على العمليات الفسيولوجية في المحاصيل البستانية، وهو ناتج طبيعي لعمليات الأيض (البناء) والتي تنتجه كل الأنسجة النباتيه. وعموماً، فإن لغاز الإيثيلين آثاراً نافعه وأخرى ضارة على الثمار. فهو يؤدي إلى إسراع عملية النضج وظهور علاماته مثل الإختفاء التدريجي للون الأخضر في الموز وتحول النشا الى سكر، كما أن زيادة نسبته تؤدي إلى الإسراع في الوصول إلى الشيخوخة وفقد اللون الأخضر في الثمار الخضرية مثل الكوسا والخيار وإصفرار المحاصيل الورقية. يعتبر غاز الإيثيلين هرمون الإنضاج ويستخدم في عمليات الإنضاج الصناعي لثمار عديدة من بينها الموز. يجب أثناء عملية تخزين أو نقل بعض المحاصيل مع بعضها مراعاه الثمار عالية الإنتاج للإيثيلين ومن ثم فصلها عن تلك المنتجات الأخرى الحساسة لغاز الإيثيلين. في هذا الإطار تم تقسيم الحاصلات البستانية إلى مجموعات يمكن تخزينها أو نقلها سويا دون أى أضرار حيث تتوافق كل مجموعة من حيث درجة الحرارة و الرطوبة النسبية وكذلك من حيث أنتاجها أو حساسيتها للإثيلين (ملحق ب).

## الإصابات الميكانيكية

فواقد ما بعد الحصاد بفعل الإصابات الميكانيكية تحد من إستهلاك الكثير من المنتجات بفعل تأثيرها على الجودة ومن حيث الكم المتاح للغرض التي أنتجت من أجله. الإصابات الميكانيكية أحد صور الفقد الحادث بصورة عامة والتي له تصنيفات عديدة ومصادر مختلفة. تعتبر عملية الحصاد من حيث الوقت وإستخدام الطرق المناسبة من الأمور الجديرة بالأهتمام حيث أن إهمالها يؤثر سلبا على المحصول وجودته بفعل سقوط الثمار وغياب الوسائل الملائمة لتعبئتها ونقلها لمحطات الفرز والتدريج والأسواق. من الأسباب الأخرى لتلك الإصابات غياب طرق التعرف علي علامات النضج بصورة ملائمة (Maturity indices) فمثلا بعض أصناف التمور تتعرض

للتساقط عند بلوغها مرحلة الرطب مثل الخلاص والبرحي مما يؤدي إلى تشوه الثمار وتلفها خاصة في ظل الرطوبة المرتفعة والرياح القوية والتي تشجع على التساقط وتلف تلك الثمار. أيضا ولنفس الثمار وكأحد مصادر الإصابات الميكانيكية في مراحل تجفيف التمور هو استخدام طرق بدائية للتجفيف مثل نشر الرطب على البلاستيك أو الحصير أو الصواني المكشوفة والتي لا تراعى فيها الجوانب الصحية الأمر الذي ينتج عنه تدني الجودة بسبب تعرض الثمار للأتربة والغبار والحشرات والقوارض والأمطار.

تعتبر عمليات التداول لما بعد الحصاد مصدر رئيسي للإصابات الميكانيكية وخاصة أثناء عمليات التخزين المبرد في عبوات غير ملائمة أو لإرتفاعات عالية (شكل 6.1). يؤثر ذلك سلبا على خواص التحمل للعبوات السفلية ويكون له تأثر مباشر على الثمار والتي غالبا ما تكون في صورة بروزات أو كدمات أو تشوهات غير مرغوبة وربما تؤدي لتجريحها ومن ثم تعمل على تنشيط تفاعلات إنزيمية غير مرغوبة تؤدي لحدوث الشيخوخة. أيضا أجواء التخزين غير الملائمة في درجات حرارة منخفضة يمكن أن تؤدي لحدوث ما يعرف بأضرار البرودة على الثمار. في أثناء عمليات الفرز والتدريج وفي حال استخدام خطوط غير ملائمة من حيث المادة المصنعة منها وطرق تشطيبها أو من حيث التصميم، أو من حيث طبيعة سريان المنتج أثناء مروره وإنتقاله بوحدات التشغيل المختلفة، تؤدي كل تلك الأسباب لحدوث إصابات ميكانيكية للمحصول.

شكل (6.1): طرق تداول وتعبئة غير ملائمة تؤدي لإصابات ميكانيكية.

في ضوء ما سبق تقسم الإصابات الميكانيكية لثلاثة أقسام: بفعل الصدمات، الضغوط، أوالاهتزازات. النوع الأول يحدث بفعل إصطدام الثمار ببعضها البعض ونتيجة سقوطها علي سطح خشن حيث تتأثر قشرتها الداخلية بفعل هذا الصدام. يمكن أيضا للحصاد الميكانيكي أو معدات الفرز والتدريج الغير مناسبة أن تؤدي لهذا النوع من الإصابات. يستمر هذا النوع من الإصابات على إمتداد عملية التداول لفترة ما بعد الحصاد.

النوع الثاني (بفعل الضغوط) ينتج عن تعرض الثمار لضغوط غير ملائمة بفعل وزن الأحمال الفوقية لعبوات المنتج على العبوات السفلية حيث تكون تلك الإصابات واضحة مثلا في ثمار البطاطس التي تكون في الطبقة السفلية في غرف تخزين الصب (Bulk) ومن ثم يجب أن لا تتجاوز إرتفاعات كومة البطاطس 4.5 إلى 5م . أيضا يجب مراعاة ذلك عند رص العبوات الكرتونية حيث توجد توصيات محددة في هذا المجال للحد من الضغوط التي تتعرض لها ثمار أو عبوات الطبقات السفلية. أيضا لنوعية العبوات وخاصة أركانها وخواصها الميكانيكية دور كبير في هذا المجال. توجد طريقة لتحديد قوة العبوات يمكن الرجوع لها للوصول للتصميم الأمثل. يجب أيضا عدم الملئ الزائد للعبوات واستخدام الفواصل بينها في حال تطلب الأمر ذلك لمنع إحتكاكها أثناء النقل والتداول.

النوع الثالث (بفعل الإهتزازات) عادة ما يحدث أثناء النقل سواء من الحقل لمحطة التعبئة أو نقل المنتج النهائي لمراكز التوزيع أو للتخزين طويل المدى حيث تعد نظم التعليق الميكانيكي للسيارات الناقلة وما ينتج عنه من إهتزازات سبب رئيسي يؤثر بصورة مباشرة على جودة الثمار خاصة في حالة وجود عبوات سائبة حيث يكون التأثير كبيرا على ثمار مثل الموز والكمثرى.

**الضوء**

عامل مهم لتكوين اللون في ثمار المحاصيل البستانية لإكسابها مظهراً جيداً للتسويق، كما أنه قد يؤدي إلى بعض الأضرار مثل إخضرار درنات البطاطس مما يفقدها أحد عوامل الجودة.

## الخلاصة

يجب فهم كافة العوامل التي تؤثر على جودة الحاصلات البستانية والخضروات أثناء عمليات التداول المختلفة وذلك بغرض تطبيق التقنيات الملائمة لفترة ما بعد الحصاد للحد من تأثيراتها السلبية على جودتها وعلى عمرها التسويقي وبالتالي زيادة الكميات المتاحة منها وزيادة العائد من كل الإستثمارات المخصصة للإنتاج. يجب تطبيق مفهوم سلسلة التبريد بكل حلقاتها بغرض الحفاظ على درجة الحرارة الملائمة والظروف البيئية الأخرى لخفض الفقد في الماء والوزن وللحد من عملية التنفس والتي تعتبر درجة الحرارة هي العامل الأكثر تأثيرا علي معدلاتها.

## الفصل الثاني

# السيكروميتري والمنتجات سريعة التلف

### الملخص

الهواء والأجواء التخزينية المحيطه بالحاصلات البستانية تؤثر على جودتها وذلك من حيث درجه الحرارة الجافة والرطبة، الرطوبة النسبية والمطلقة، وغيرها من خصائص الهواء التي تعرف بالخصائص السيكروميترية. لفهم طبيعة تأثيرها وكيفيه تجنب أثارها السيئة على الحاصلات الطازجة لابد من تعريف عناصر السيكروميتري تفصيليا وبيان كيفيه الإستفادة منها لتصميم ولتوفير المعلومات ذات الصلة بأجواء تخزين تلك المنتجات وكيف يمكن من خلالها التنبؤ بكميات المياه التي يمكن أن تفقد أو الفقد في الوزن المتوقع ومن ثم أخذ الإجراءات التي تحد من تلك الآثار السلبية.

### مقدمة

يقصد بالسيكروميتري قياس الخواص المختلفة للهواء المحيط بالمحاصيل البستانية مثل درجة الحرارة الجافة، درجة الحرارة المبتلة أو الرطبة، الرطوبة النسبية، نقطة الندى، الرطوبة المطلقة أو الكلية، وأخيرا الطاقة الكلية. يمكن وصف العلاقة بين هذه الخواص بيانياً بما يعرف بالخريطة السيكروميترية، وهي تعد من أساسيات عملية التصميم بغرض الإختيار الأمثل لمعدات التبريد مثل المبخرات ومساحتها السطحية للحد من الأثر التجفيفي للهواء بفعل الإنخفاض في درجة حرارته. تعتبر أيضا حساباتها هامة لإختيار العزل المناسب لجدران مستودعات التبريد من حيث النوعية والسمك لمنع أى تكثف للرطوبة علي تلك الجدران ومن ثم الحد من إختراق الماء والذي يؤثر على الخواص الحرارية العازلة للجدران ويؤدي لتلفها على المدى البعيد.

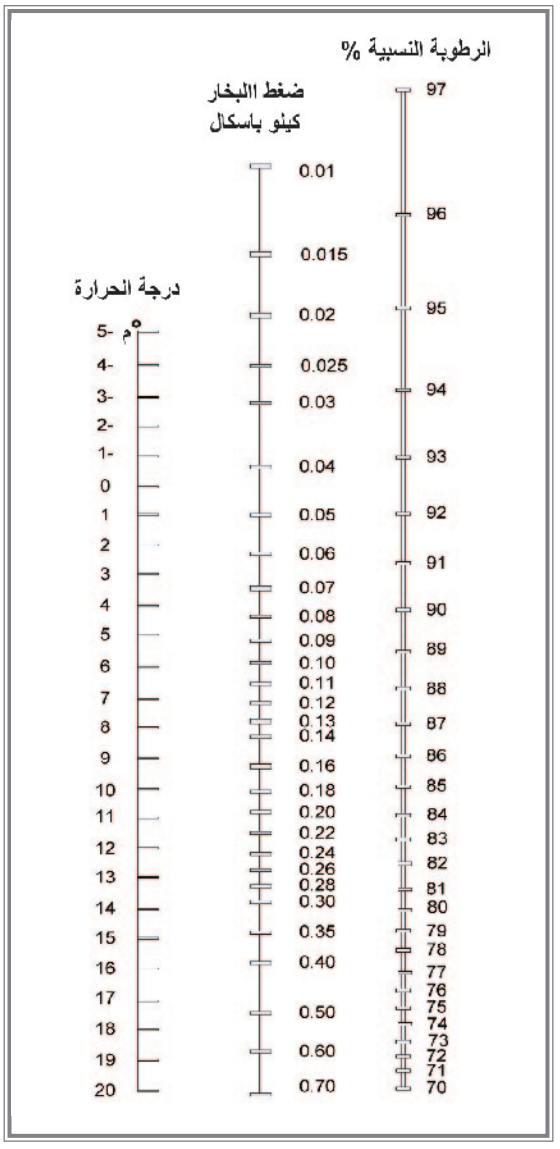
لبعض المنتجات مثل البطاطس تعتبر حسابات السيكروميتري هامة من عدة جوانب فمثلا يتطلب الأمر لبطاطس التقاوي الرفع التدريجي لدرجة الحرارة عند خروجها من غرف التبريد لغرض الزراعة ولذا لابد من منع أى تعرق أو تكثف والذي ربما يحدث بفعل نقطة الندى ومن ثم يتطلب الأمر تقدير مدى الرفع التدريجي في درجة حرارتها وعلاقته بالأجواء المحيطة. في عمليات تهوية البطاطس وللتخلص من ثاني أكسيد الكربون المتراكم يتم الإستعانة بهواء خارجي حيث يجب خفض درجة حرارته ورفع رطوبته بحيث يمنع أى تعرق أو تكثف للبخار علي سطح الدرنات ولذا يتم الإستعانة بخواص السيكروميتري للهواء في هذه الشأن. لكل ما سبق يجب فهم الخواص المختلفة للهواء المحيط وكيفية السيطرة والتحكم في هذه الخواص للحفاظ على الجودة والتقليل من التلف.

يتكون الهواء الجوي من النيتروجين (78 %) والأكسجين (21 %) وثاني أكسيد الكربون وعدد أخر من الغازات (1 %) إضافة إلى بخار الماء. ويكون الهواء جافا إذا إنتزعت منه الرطوبة. يتكون الهواء الرطب من خليط من مكونين هما الهواء الجاف وبخار الماء. تتفاوت نسبة بخار الماء في الهواء من صفر % (هواء جاف) إلى 100 % (هواء مشبع بالرطوبة) حيث تعتمد تلك النسب على درجة الحرارة والضغط. بالرغم من أن بخار الماء يمثل فقط من 0.4 إلى 1.5 % من وزن الهواء، إلا أنه يلعب دوراً هاماً جداً في تأثير الظروف الجوية على العمر التسويقي أو التخزيني للمحاصيل البستانية والخضروات سريعة التلف.

السيكروميتري هو علم قياس خواص الحرارة وبخار الماء للهواء حيث العوامل المتغيرة شائعة الإستخدام للسيكروميتري هي درجة الحرارة، الرطوبة النسبية، نقطة الندى، درجة الحرارة الرطبة. بالرغم من أن تلك المتغيرات ربما تكون مألوفة في عالم التكييف إلا أنها ليست مفهومة بصورة جيدة للمهتمين بتقنيات التداول والتخزين أو للقائمين على تصميم وإختيار معدات التبريد وعناصرها المختلفة مما ينتج عنه ظروف غير مثالية تؤدي لفواقد عديدة كما سبق الإشارة إلى ذلك.

## ماذا يحدث عند تبريد المنتجات الطازجة

على افتراض أن درجة حرارة غرفة التبريد هي الصفر المئوي وأنه قد تم تحميل الغرفة بمنتجات لم يتم تبريدها تبريدا سريعا أى أن حرارة الحقل لم تسحب منها ومن ثم يكون لها درجة حرارة إبتدائية مرتفعة. تقوم مروحة مبخر غرفة التبريد بتدوير الهواء من خلال دفعه حول المنتج بغرض بدء عملية التبريد ليقوم الهواء البارد بإمتصاص الحرارة للنزول بدرجة حرارة المنتج للدرجة المرغوبة. في تلك الأثناء تكون درجة حرارة المنتج أعلى من درجة حرارة الهواء البارد وعلى إفتراض أنه حتى وإن كانت الرطوبة النسبية للغرفة 100 % فإن ضغط بخار الماء سيكون أقل من ضغط بخار الماء للمنتج وبالطبع يزداد هذا الفارق في ضغط بخار الماء بإنخفاض الرطوبة النسبية للغرفة. بناء على ذلك يحدث إنتقال للماء أو الرطوبة من المنتج إلى الجو المحيط وبإستمرار تلك العملية يحدث الجفاف للمنتج. بمعنى أخر فإنه كلما أستغرقت تلك العملية فترة زمنية أطول كلما زاد الفقد في رطوبة المنتج وزادت نسبة الجفاف. فمثلا للعنب وفي حال فقد أكثر من 2 % من الماء يظهر تلون للعنق باللون البني. هنا تكمن أهمية عملية التبريد المبدئي في كونها سريعة وفور عملية الحصاد للحد من فقد الماء لأقل معدل ممكن. في حال ما كانت الرطوبة النسبية للغرفة 80 % بسبب سوء التصميم أو بسبب فتح الأبواب وكثرة الأحمال الحرارية أو بسبب تسرب الحرارة من فواصل الجدران بسبب سوء عملية العزل ورداءة تركيبها فإن الموقف ربما يكون أسوأ بعشرات المرات من حيث سرعة جفاف المنتج.




**شكل (1.2)**: نوموجراف لإيجاد العجز في ضغط البخار كمتغير في درجة الحرارة والرطوبة النسبية (بتصرف من Debey *et al.*, 1981).

دعنا نفترض مرور 48 ساعة علي وجود المنتج في غرفة التبريد وهو عادة ما يحدث في حال عدم وجود محطة مخصصة للتبريد السريع لتبريد المنتج لدرجة الحرارة النهائية المرغوبة، في تلك الأثناء يظل المنتج يفقد رطوبة للجو المحيط وتتراكم تلك الرطوبة أو الماء بعد تكثفها علي سطح المبخر ويتم تصريفها لخارج غرفة التبريد. في حالة التبريد السريع فإن تلك العملية ربما لا تستغرق ثلاث أو أربع ساعات وفقا لنوع المنتج وعوامل أخرى سيتم التعرض لها تفصيليا لاحقا، بناء عليه وفي حال التبريد السريع يكون فقد الماء أقل مقارنة بالتبريد في غرف التبريد العادية. بعد وصول المنتج لدرجة الحرارة المرغوبة والتي تكون هي نفس درجة حرارة الهواء المحيط وفي حال ما كانت الرطوبة النسبية للهواء المحيط 90 % على سبيل المثال فإن المنتج سيستمر في فقد الماء لكن بمعدل أقل حيث يمكن الإستعانة بشكل رقم (1.2) لمعرفة نسبة الفقد في الماء أو بالحسابات المشار لها في الفصل السابق. وفقا لشكل (1.2) وعند درجة حرارة الصفر المئوي ورطوبة نسبية مقدارها 90 % فإن المنتج سيظل يفقد رطوبة بأكثر من ستة أضعاف مقارنة فيما لو كانت رطوبة الغرفة 100 %.

## الخريطة السيكروميترية

تصف الخريطة السيكروميترية العلاقة بين المتغيرات التي تُوّصِف الهواء وهي درجة الحرارة الجافة، درجة الحرارة المبتلة، الرطوبة النسبية، الرطوبة المطلقة، الحجم النوعي، نقطة الندى، والطاقة الكلية . توفر الخريطة معلومات عن كمية الرطوبة

الموجودة في الهواء عند ظروف محددة من درجة الحرارة والرطوبة النسبية. أيضا يمكن بإستخدامها معرفة الحد الأدنى الذي يمكن من خلاله تبريد العديد من المنتجات بنظام التبريد التبخيري (المبرد الصحراوي) والذي يعتمد بصورة أساسية على ما يسمى بدرجة الحرارة المبتلة أو الرطبة وهي أدنى درجة ممكن لهذا النوع من المبردات أن يصل إليها.

يتم التعبير عن الرطوبة في الخريطة السيكروميترية بالعديد من الطرق غير أن بعضها غير مفيد للتطبيق في فترة ما بعد الحصاد للمنتجات سريعة التلف حيث من غير الهام مثلا معرفة كمية بخار الماء الموجود في الهواء بقدر أهمية معرفة أثره في تجفيف المنتج أو فقد الوزن منه وهو ما يهم المنتجين والقائمين علي تداول تلك المنتجات بصورة رئيسية.

الرطوبة النسبية تعتبر من المصطلحات الأساسية في هذا المجال حيث تعرف بأنها النسبة ما بين كمية البخار الموجود في الجو مقارنة بنسبة بخار الماء عند حالة التشبع الكامل ببخار الماء وذلك عند نفس درجة الحرارة. بمعنى آخر ولفهم المصطلح السابق عمليا يجب علينا تذكر أن بخار الماء الموجود في الجو يؤثر بالضغط علي جدران العبوات الداخلية محكمة الغلق وهذا ما يحدث عند تغليف عبوات الخضار والفاكهة بأغلفة بلاستيكية. كلما زادت كمية بخار الماء في الجو كلما زاد ضغطه على تلك الجدران الداخلية وذلك عند درجة حرارة معينة. الرطوبة النسبية للهواء المشبع تكون 100 %. الرطوبة النسبية عند هذا الحد لا ينصح الوصول لها في مخازن تبريد الحاصلات البستانية وذلك لمنع تكثف الماء على جدران العبوات أو أسطح المنتجات مما يسبب كثير من المشاكل للعبوات الكرتونية مثل العفن والأمراض المختلفة. درجة الحرارة التي تبدأ عندها عملية التكثف تلك تسمى نقطة الندى إذا ما كانت أعلى من الصفر المئوي أو درجة حرارة الصقيع إذا ما كانت أدنى من الصفر المئوي.

في حال ما كان الهواء لا يحمل أى بخار ماء فإنه يكون جافا تماما ومن ثم تكون قيمة الرطوبة النسبية له 0 %. تلك الحالة لا يمكن أن تكون موجودة بصورة طبيعية غير أنه من الممكن أن تصل قيم الرطوبة النسبية إلى 4-5 % في أماكن إنتاج صحراوية في الكثير من الدول العربية حيث ينتشر الجفاف في مساحات واسعة مما يكون له أثر تجفيفي كبير جدا على تلك الحاصلات في حال عدم إتخاذ ما يلزم لتفادي ذلك.

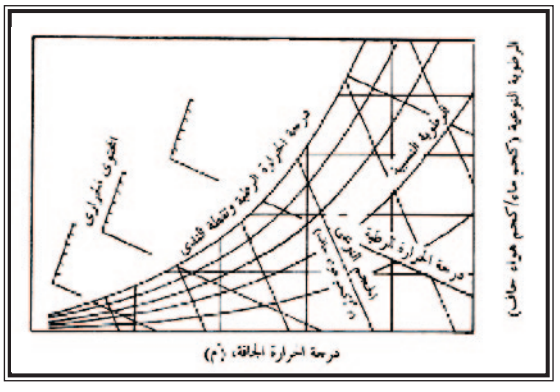
يوجد مصطلح أخر للتعبير عن الرطوبة وهو نسبة الرطوبة (في بعض الأحيان تسمى نسبة الخلط أو الرطوبة المطلقة أو النوعية). وحدات نسبة الرطوبة هي كتلة بخار الماء لوحدة الكتل من الهواء الجاف (كجم/كجم). وفي الظروف التقليدية للكثير من الدول العربية تتباين نسبة الرطوبة للهواء الخارجي من 0.004 إلى 0.015 كجم/ كجم وبالرغم من أن بخار الماء يمثل فقط 0.4 إلى 1.5 % من وزن الهواء فإن تلك الكمية الصغيرة من بخار الماء تلعب دورا هام في فترة ما بعد الحصاد للمنتجات سريعة التلف.

في حال عدم فقد أو إكتساب أى بخار ماء أو رطوبة لعينة من الهواء فإنه يمكن خفض درجة حرارة هذا الهواء لدرجة الحرارة التي يكون عندها الهواء مشبعا تماما ببخار الماء أى تكون قيمة الرطوبة النسبية له 100 % ودرجة الحرارة تلك تسمى نقطة الندى كما سبق إيضاحه. أى تبريد إضافي سينتج عنه تكثف بخار الماء ليُكوّن قطرات من الماء الحر أو الندى. في حال ما تم معرفة درجة حرارة الهواء ومن ثم تقدير نقطة الندى له فيمكن حساب كمية بخار الماء وذلك من خلال الخريطة السيكروميترية.

ينتج التكثف عند الوصول لدرجة حرارة نقطة الندى داخل غرف التبريد حيث تتكثف قطرات الندى على سطح المبخر البارد وبصفة مستمرة. يتعاظم مقدار الماء المتكثف كلما إرتفعت درجة الحرارة الإبتدائية للمنتج وفي حال عدم تبريده تبريدا سريعا أو مبدئيا. أيضا كلما زادت الكميات المخزنة عن الكميات الفعلية المفترض تخزينها. لذا يمكن لأى مُنتِج أو مُصدر معرفة حجم الماء أو الوزن المفقود من شحنته بمراقبة حجم الماء المتصرف والمتساقط من المبخر. يمكن مشاهدة ما سبق فعليا في حال إستخدام عربات نقل مبردة رديئة وغير ملائمة والتي يتم تعبئتها بالعديد من الحاصلات البستانية المتنوعة وغير المبردة تبريدا سريعا. يشاهد من خارج تلك العربة كيف يتم تصريف كميات من ماء المنتج عبر فتحات الصرف لتلك العربات.

من التعبيرات الهامة في هذا المجال أيضا درجة الحرارة المبتلة وهي درجة الحرارة التي يوضحها ترمومتر زئبقي عند تغليف البويصلة الخاصة به بقطعة من القماش أو القطن المبلل. عند مرور تيار من الهواء على القطنه المبللة يقوم بتبخير الماء ويحدث خفض في درجة حرارة الهواء المحيط لأنه قد تم سحب الحرارة منه لإنجاز عملية التبخير. تعتمد عملية التبخير علي كمية بخار الماء الموجودة في الجو وعلى درجة حرارته. تعتمد أيضا على ضغط بخار الماء وسرعة الهواء. حين يصبح الهواء مشبعا ببخار الماء فإن هذا يحد من عملية التبخير ومن ثم تصبح درجة الحرارة المبتلة مثل درجة الحرارة العادية للهواء أو ما يطلق عليها درجة الحرارة الجافة. لهذا السبب يعتبر التبريد التبخيري غير فعال في المناطق الساحلية نظراً لإرتفاع الرطوبة بتلك المناطق. يوضح الفارق ما بين درجة الحرارة المبتلة والجافة كمية الرطوبة أو درجة التشبع بالهواء. كلما زاد هذا الفارق كلما كانت الرطوبة وضغط بخار الماء أقل. ما سبق يعتبر هو الأساس لأجهزة التبريد التبخيري أو الصحراوي حيث الكفاءة العالية لهذه الأجهزة في المناطق الصحراوية (الجافه) ترجع إلى القدرة العالية للهواء الحار والجاف على تبخير الماء حيث تتم عملية التبريد عن طريق تلامس الهواء مع ماء درجة حرارته مساوية لدرجة الحرارة الرطبة للهواء، وتعمل الحرارة المحسوسة للهواء على تبخير الماء مما يؤدي إلى إنخفاض درجة الحرارة الجافة للهواء وإرتفاع محتواه الرطوبي. يطلق على ما يحدث في هذه العملية بالتبادل الحراري الأديباتيكي أو بالعملية الأديباتيكية نظرا لأنه لا يحدث أى تغير للمحتوى الحراري الكلي. سيتم التعرض تفصيليا للمبرد التبخيري لاحقا كأحد البدائل الإقتصادية لتبريد الحاصلات البستانية.

يوضح شكل (2.2) الخرائط السيكروميترية، المقياس الأفقي لها هو درجة الحرارة العادية أو الجافة في حين يمثل المحور الرأسي نسبة الرطوبة والتي تُوضح أقصى كمية بخار ماء يمكن أن يحتفظ بها الهواء عند درجة حرارة معينة. المنحنيات المتصاعدة لأقصى اليسار بالخريطة توضح قيم الرطوبة النسبية. يلاحظ من الخريطة أن الهواء يُحمل ببخار ماء أكثر بتزايد درجة الحرارة وكقاعدة بديهية فإن أقصى كمية ماء يمكن أن يحتفظ بها الهواء تتضاعف لكل 11 °م زيادة في درجة الحرارة. الخط الأخير المتصاعد لأقصى اليسار يسمى خط 100 % رطوبة نسبية. يتم تقريب الخط المماثل أو الموازي له عند 50 % رطوبة نسبية من خلال النقاط التي تمثل نسبة الرطوبة عندما يحتوي الهواء على 50 % من أقصى كمية لمحتواه المائي حيث تتشكل الخطوط الأخرى بنفس الطريقة. لاحظ أن الرطوبة النسبية وبدون أى متغير سيكروميتري أخر لا تحدد أى ظروف أو حالة معينة على الخريطة وغير ذات معنى ومثال على ذلك 80 % رطوبة نسبية عند صفر °م تختلف كثيراً عن ظروف الهواء عند 80 % رطوبة نسبية و20 °م. بمعنى أخر لابد من تحديد حالة الهواء من خلال معرفة خاصيتين له ومن ثم يمكن توقيعهما على تلك الخريطة لتتم مقارنة تلك الحالة مع حالة أخرى يتم إستنباطها بمعرفة طبيعة العملية الجارية على الهواء سواء تسخين أو تبريد أو غيرها.



**شكل (2.2)**: خريطة السيكروميتري وعناصرها المختلفة.

إذا ما بُردت كمية الهواء بدون تغير محتواها الرطوبي فإنها تفقد قدرتها على الإحتفاظ بالرطوبة وإذا كانت باردة بدرجة كافية فإنها تصبح مشبعة بالرطوبة (100 % رطوبة نسبية) وإذا ما بردت بدرجة أكبر تبدأ في فقد الماء في صورة ندى أو صقيع (ثلج). درجة الحرارة المبتلة تُوضح في الخريطة من خلال الخطوط المائلة قطرياً لأعلى من اليمين لليسار حيث تمثل تلك الخطوط ظروف درجة الحرارة وبخار الماء للترمومتر المغطى بشاشة أو قطعة قطن مبللة. تستخدم عملياً خطوط درجة الحرارة المبتلة لتحدد بدقة على الخريطة السيكروميترية ظروف الهواء في موقع محدد والمقاسة بجهاز السيكروميتري. التقاطع بين الخطوط القطرية لدرجة الحرارة المبتلة (وتساوي درجة حرارة الترمومتر) والخطوط الرأسية لخطوط درجة الحرارة الجافة تحدد درجة حرارة ورطوبة الهواء.

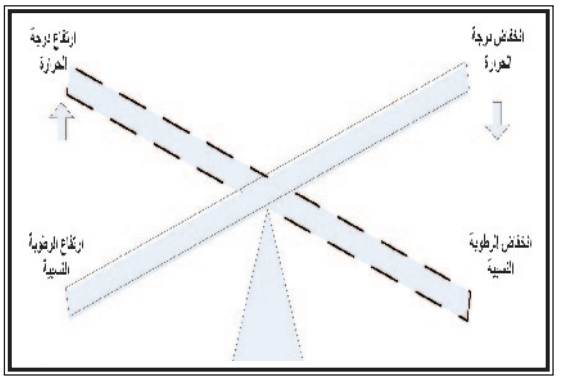
ضغط بخار الماء والذي يتناسب مباشرة مع الرطوبة لا يظهر عادة في الخريطة السيكروميترية وتستخدم الصياغة السابق الإشارة إليها في الفصل الأول لحسابه.

## تأثير متغيرات السيكروميتري على الحاصلات سريعة التلف

### درجة الحرارة

درجة الحرارة تعتبر العامل الأهم لفترة ما بعد الحصاد للمنتجات سريعة التلف والتي إذا ما تم تخزينها على درجة حرارة أعلى من الموصى بها يؤدي إلى إرتفاع غير متوقع في معدل التنفس وتصبح أكثر عرضه لأضرار الإيثيلين والأمراض. في الحقيقة فإن معدل تنفس الحاصلات البستانية يتضاعف مرتين أو ثلاثة أو حتى أربعة أضعاف لكل زيادة قدرها 10°م في درجة الحرارة. التخزين على درجات حرارة أقل من المناسبة قد يؤدي لبعض المشاكل في عدد من الحاصلات وإصابتها بأضرار البرودة ولذا فإن التحكم الدقيق في درجة الحرارة يعتبر حيوي للحفاظ على أطول عمر تسويقي للمنتج وتقليل الفاقد منه. عملية التحكم تشمل تطبيق ملائم لكافة عناصر سلسلة التبريد وإستخدام المعدات والأجهزة ذات الصلة بهذا المجال بالإضافة للتصميم الأمثل والإختيار الصحيح لمعدات التبريد السريع، مخازن التبريد، النقل المبرد وغيرها من بقية عناصر سلسلة التبريد.

لإيضاح ما سبق وفي حالة مخازن البطاطس فإن الرطوبة النسبية في مستودعات تخزين البطاطس محكمة الغلق عادة ما تكون في حدود 90-98 % وبمتوسط 94 %. في الأيام الصيفية الحارة والجافة فإن الحرارة الخارجية تتسرب لداخل المستودع المبرد بفعل النتوءات الجانبية في فواصل ألواح العزل وبفعل فتح الأبواب والمصادر الحرارية الأخرى داخل غرف المخزن. يؤدي هذا لإرتفاع درجة الحرارة داخل المستودع ومن ثم إنخفاض الرطوبة النسبية. يحدث العكس أثناء فترات الليل الشتوية حيث تتسرب الحرارة من داخل المخزن لخارجه مما يؤدي لإنخفاض درجة حرارة المستودع المبرد وترتفع رطوبته النسبية لأعلى من 94 %. التغير في درجة حرارة الجو المحيط بدرنات البطاطس سيؤدي لتذبذب كل من درجة الحرارة والرطوبة النسبية للهواء (شكل 3.2). الإنخفاض السريع في درجة الحرارة الخارجية يؤدي لتكثف الرطوبة على الأسطح الخارجية لعبوات أو كومة البطاطس وهي أبرد المناطق ومن ثم يؤدي لحدوث مشاكل عديدة للثمار بفعل الأعفان المختلفة. يجب التقليل من تلك التذبذبات من خلال التحكم الجيد والعزل المحكم والإدارة الفاعلة لمستودعات تخزين البطاطس.




**شكل (3.2):** العلاقة بين درجة الحرارة والرطوبة النسبية في حيز مغلق.

يجب في هذا الإطار الإشارة للفارق بين درجة الحرارة التي توضحها قراءة لوحة التحكم الخاص بمعدات التبريد من خلال ثرموستات أو حساسات الحرارة بالغرفة وتلك التي فعليا يتم دفعها نحو المنتج حيث يمكن توضيح تلك المشكلة حينما تكون قراءة عداد الحرارة بالغرفة هي 1 °م لكن الهواء الفعلي المدفوع عادة ما يكون أقل من هذا بغرض الحفاظ علي درجة حرارة الغرفة عند الدرجة المطلوبة وهي 1 °م. بناء عليه فمن الممكن أن تكون المنتجات المخزنة بقرب المبخر عرضة لدرجات حرارة أدنى من المطلوبة ومن ثم فمن المحتمل تعرضها لأضرار البرودة أو التجمد. يمكن الحد من تلك المشكلة من خلال وضع حساسات درجة الحرارة بالقرب من المبخرات حيث مخرج الهواء المغذي للغرفة.

من التطبيقات الهامة للسيكروميتري هو إستخدام الهواء الخارجي في عمليات التجفيف العلاجي (Curing) للبطاطس والبصل ومن ثم يتم حساب الطاقة المطلوبة لعملية التجفيف تلك من خلال السيكروميتري. لإعطاء مثال على ذلك للبطاطس وفي حال ما كانت درجة حرارة الهواء الجوي أعلى من درجة حرارة الدرنات وبه نسبة رطوبة أقل فيمكن دفع الهواء ليتخلل الدرنات ليجفف قشرتها (لاحظ أنه في حال كانت الرطوبة بالهواء أعلى من رطوبة المنتج فسينتج عن هذا بلل لسطح الدرنات). على إفتراض أن درجة الحرارة الإبتدائية للدرنات كانت 15 °م في حين كانت درجة حرارة الهواء الخارجي هي 20 °م ورطوبته النسبية 60 % فيتم إستخدام جدول (1.2) أو الخريطة السيكروميترية لمعرفة أن الهواء عند درجة 18 °م ورطوبة نسبية 60 % يكون له رطوبة مقدارها

9.1 جم ومن ثم يكون معدل الرطوبة المزال من البطاطس كالتالي:

للبطاطس : 15°م ورطوبة نسبية 100 % 13.0 جم ماء/م$^3$ هواء
للهواء : 20°م ورطوبة نسبية 60 % 9.1 جم ماء/م$^3$ هواء
معدل إزالة الرطوبة من البطاطس 3.9 جم ماء/م$^3$ هواء جاف
لكل 100 م$^3$ من الهواء الجاف/م$^3$ من البطاطس يتم إزالة: 100 × 3.9 =390 جرام من بخار الماء.

**جدول (1.2)**: نسبة الرطوبة للهواء الخارجي (جم/م$^3$) وفقا لدرجة الحرارة والرطوبة النسبية (Tolsma, 2009).

| درجة الحرارة (°م) | الرطوبة النسبية % | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| صفر | 0.5 | 1.0 | 1.4 | 1.9 | 2.4 | 2.9 | 3.4 | 3.8 | 4.3 | 4.8 |
| 1 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.1 | 2.6 | 3.1 | 3.6 | 4.1 | 4.6 | 5.2 |
| 2 | 0.6 | 1.1 | 1.7 | 2.2 | 2.8 | 3.3 | 3.9 | 4.4 | 5.0 | 5.5 |
| 3 | 0.6 | 1.2 | 1.8 | 2.4 | 3.0 | 3.5 | 4.1 | 4.7 | 5.3 | 5.9 |
| 4 | 0.6 | 1.3 | 1.9 | 2.5 | 3.2 | 3.8 | 4.4 | 5.0 | 5.7 | 6.3 |
| 5 | 0.7 | 1.3 | 2.0 | 2.7 | 3.4 | 4.0 | 4.7 | 5.4 | 6.1 | 6.7 |
| 6 | 0.7 | 1.4 | 2.2 | 2.9 | 3.6 | 4.3 | 5.0 | 5.8 | 6.5 | 7.2 |
| 7 | 0.8 | 1.5 | 2.3 | 3.1 | 3.8 | 4.6 | 5.4 | 6.2 | 6.9 | 7.7 |
| 8 | 0.8 | 1.6 | 2.5 | 3.3 | 4.1 | 4.9 | 5.7 | 6.6 | 7.4 | 8.2 |
| 9 | 0.9 | 1.8 | 2.6 | 3.5 | 4.4 | 5.3 | 6.1 | 7.0 | 7.9 | 8.8 |
| 10 | 0.9 | 1.9 | 2.8 | 3.7 | 4.7 | 5.6 | 6.5 | 7.5 | 8.4 | 9.3 |
| 11 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 7.9 | 8.9 | 9.9 |
| 12 | 1.1 | 2.1 | 3.2 | 4.2 | 5.3 | 6.3 | 7.4 | 8.5 | 9.5 | 10.6 |
| 13 | 1.1 | 2.3 | 3.4 | 4.5 | 5.6 | 6.8 | 7.9 | 9.0 | 10.1 | 11.3 |
| 14 | 1.2 | 2.4 | 3.6 | 4.8 | 6.0 | 7.2 | 8.4 | 9.6 | 10.8 | 12.0 |
| 15 | 1.3 | 2.5 | 3.8 | 5.1 | 6.4 | 7.6 | 8.9 | 10.2 | 11.5 | 12.7 |
| 16 | 1.4 | 2.7 | 4.1 | 5.4 | 6.8 | 8.1 | 9.5 | 10.8 | 12.2 | 13.5 |
| 17 | 1.4 | 2.9 | 4.3 | 5.7 | 7.2 | 8.6 | 10.1 | 11.5 | 12.9 | 14.4 |
| 18 | 1.5 | 3.1 | 4.6 | 6.1 | 7.6 | 9.2 | 10.7 | 12.2 | 13.7 | 15.3 |
| 19 | 1.6 | 3.2 | 4.9 | 6.5 | 8.1 | 9.7 | 11.3 | 12.9 | 14.6 | 16.2 |
| 20 | 1.7 | 3.4 | 5.1 | 6.9 | 8.6 | 10.3 | 12.0 | 13.7 | 15.4 | 17.2 |
| 21 | 1.8 | 3.6 | 5.5 | 7.3 | 9.1 | 10.9 | 12.7 | 14.6 | 16.4 | 18.2 |
| 22 | 1.9 | 3.9 | 5.8 | 7.7 | 9.6 | 11.6 | 13.5 | 15.4 | 17.3 | 19.3 |
| 23 | 2.0 | 4.1 | 6.1 | 8.2 | 10.2 | 12.2 | 14.3 | 16.3 | 18.4 | 20.4 |
| 24 | 2.2 | 4.3 | 6.5 | 8.6 | 10.8 | 13.0 | 15.1 | 17.3 | 19.4 | 21.6 |
| 25 | 2.3 | 4.6 | 6.9 | 9.1 | 11.4 | 13.7 | 16.0 | 18.3 | 20.6 | 22.9 |
| 26 | 2.4 | 4.8 | 7.3 | 9.7 | 12.1 | 14.5 | 16.9 | 19.3 | 21.8 | 24.2 |
| 27 | 2.6 | 5.1 | 7.7 | 10.2 | 12.8 | 15.3 | 17.9 | 20.4 | 23.0 | 25.6 |
| 28 | 2.7 | 5.4 | 8.1 | 10.8 | 13.5 | 16.2 | 18.9 | 21.6 | 24.3 | 27.0 |
| 29 | 2.9 | 5.7 | 8.6 | 11.4 | 14.3 | 17.1 | 20.0 | 22.8 | 25.7 | 28.5 |
| 30 | 3.0 | 6.0 | 9.0 | 12.0 | 15.1 | 18.1 | 21.1 | 24.1 | 27.1 | 30.1 |
| 31 | 3.2 | 6.4 | 9.5 | 12.7 | 15.9 | 19.1 | 22.2 | 25.4 | 28.6 | 31.8 |
| 32 | 3.4 | 6.4 | 10.1 | 13.4 | 16.8 | 20.1 | 23.5 | 26.8 | 30.2 | 33.5 |
| 33 | 3.5 | 7.1 | 10.6 | 14.1 | 17.7 | 21.1 | 24.7 | 28.3 | 31.8 | 35.4 |
| 34 | 3.7 | 7.5 | 11.2 | 14.9 | 18.6 | 22.4 | 26.1 | 29.8 | 33.5 | 37.3 |
| 35 | 3.9 | 7.9 | 11.8 | 15.7 | 19.6 | 23.6 | 27.5 | 31.4 | 35.3 | 39.3 |

## ضغط بخار الماء

توجد العديد من الأمثلة والتي توضح كيفية تأثر المنتجات سريعة التلف بالجفاف نتيجة الفروق في ضغط بخار الماء بفعل الأختلاف في درجة حرارة المنتج مقارنة بدرجة حرارة الأجواء المحيطة. للذرة السكرية التي يتم تبريدها سريعا لدرجة الصفر المئوي وتخزينها عقب ذلك في غرفة مشبعة الهواء وعلى نفس درجة الحرارة فإنها لن تفقد رطوبة (تقريبا) لتساوي كل من حرارتها وضغط البخار بها مع الأجواء المحيطة. لكن في حال ما كانت درجة حرارة الذرة السكرية هي 20°م بفعل عدم تبريدها تبريدا سريعا، سيرتفع ضغط بخار الماء الداخلي لها مقارنة بالهواء البارد للغرفة مما سيؤدي لجفاف الذرة بفعل فقدها الماء للهواء المحيط. في حال تبريد الذرة تبريدا سريعا لدرجة الصفر المئوي وكانت الرطوبة النسبية لغرفة التبريد هي 70 % فقط فإن التجفيف أو الفقد في الرطوبة كان سيحدث لأن رطوبة الهواء المحيط أقل من ضغط بخار الهواء المشبع الداخلي للذرة السكرية. معدل الفقد في الرطوبة سيكون أكبر في حال لم يتم تبريد الذرة تبريدا سريعا مقارنة بإذا ما تم تخزينها في الغرفة التي لها نسبة رطوبة متدنية حيث يبلغ تحديدا الفارق في نسبة الرطوبة بين الهواء الداخلي للذرة والهواء المحيط أكثر من تسع مرات عنها لو تم تبريدها تبريدا سريعا. يجب أن يتم التبريد السريع للذرة السكرية في حدود 1-4 ساعات من بدء عملية الحصاد ووفقا لدرجة حرارة الجو الخارجي.

**جدول (2.2)**: ضغط بخار الماء عند ظروف تخزين ودرجات حرارة مختلفة للمنتجات (Kader, 2002).

| المتغيرات | ضغط بخار الماء |
|---|---|
| غرفة على درجة حرارة: صفر°م ورطوبة نسبية 100 %<br>: صفر°م ورطوبة نسبية 70 % | 0.61<br>0.43 |
| منتج طازج* على درجة حرارة: صفر°م<br>: 20°م | 0.61<br>2.34 |

* على إفتراض أن الهواء بداخل المنتج مشبعا (100 % رطوبة نسبية).

مثال أخر للتفاح والذي تم تبريده إلى صفر°م وتم وضعه في غرفة مشبعة وعلى نفس درجة الحرارة، لن يفقد التفاح رطوبة (تقريبا) بسبب أن ضغط بخار الماء للهواء داخل التفاح والهواء المحيط هما بنفس القيمة. يوضح جدول (2.2) ضغوط بخار الماء لحالات الأمثلة المذكورة. في حين لو كان التفاح على درجة 20°م (بسبب عدم تبريده قبل وضعه في مخزن التبريد) فإن الهواء داخل التفاح سوف يكون له ضغط بخار أعلى مقارنةً بهواء غرفة التبريد والذي سينتج عنه جفاف الثمار. إذا ما تم تبريد التفاح إلى صفر°م ولكن الرطوبة النسبية لهواء غرفة التبريد كان 70% فسيحدث تجفيف للمنتج بسبب أن ضغط بخار الماء لهواء غرفة التبريد أقل من ذلك المشبع تقريباً داخل التفاح. غير أن معدل الفقد في الرطوبة يكون أكبر حينما لا يكون التفاح مبرداً وقت تحميله داخل غرفة التبريد مقارنه بأن يكون التفاح على درجة حرارة غرفة التبريد لكن هواء الغرفة غير مشبع. الفارق في ضغط بخار الماء بين الهواء داخل التفاح والهواء المحيط بغرفة التخزين المبردة يكون أعلى بتسعة أضعاف إذا لم يكن التفاح مبرداً عن لو كان مبردا وتم وضعه في هواء تخزين غير مشبع. يتم خفض معدل الجفاف من خلال تقليل الفارق بين ضغط بخار الماء للهواء داخل المنتجات سريعة التلف والهواء المحيط بها عن طريق التحكم في كل من درجة حرارة المنتج ونسبة الرطوبة للهواء المحيط.

## درجة حرارة نقطة الندى

نقطة الندى هي النقطة التي لا يستطيع الهواء بعدها حمل أى رطوبة ومن ثم يحدث التكثف. تكثف بخار الماء على العبوات الكرتونية للمنتجات الطازجة وعلى سطح المنتجات بصفة عامة يمكن أن يكون مصدر كبير للعديد من المشاكل كما سبق إيضاحه. في حال ما تم تبريد المنتج لدرجة حرارة أدنى من درجة حرارة نقطة الندى للهواء الخارجي وفي حال إذا ما تسرب هذا الهواء لداخل غرفة التبريد فإنه سيتكثف. يحدث هذا إذا ما تعرض المنتج للهواء الخارجي ما بين عملية التبريد السريع والخزن المبرد أو ما بين عملية الخزن المبرد والشحن المبرد. من هنا تأتي أهمية عزل أرصفة التحميل في محطات الفرز والتدريج وكذلك سرعة تحميل عربات النقل المبردة لتفادي كل ما سبق.

أيضا يمكن أن يحدث هذا التكثف على العبوات، سطح المنتج، والجدران الداخلية لغرف التبريد في حال حدوث تذبذب شديد في درجة حرارة مستودع التبريد. صورة أخرى من هذا التكثف تتم من خلال تدوير هواء الغرفة على مبخرات التبريد بها والتي عادة ما تكون درجة حرارة أسطحها أقل من درجة حرارة الهواء المار خلالها ومن ثم يحدث أن يبرد الهواء لأدنى من درجة حرارة نقطة الندى فيتكثف ما به من بخار ماء علي سطح المبخر ويتساقط في صورة ماء حر بوعاء خاص أسفل المبخر ليتم تجميعه وصرفه للخارج من خلال شبكة مواسير. في حال عدم إضافة رطوبة من مصدر خارجي (Humidifiers) فستستمر عملية إزالة الماء من المنتج. لخفض هذا الفقد في الماء فيجب أن يكون الفارق في درجة الحرارة بين الهواء العائد خلال المبخر وسطح المبخر أقل وفي حدود 2-3 °م. لتحقيق هذا يجب إستخدام مبخرات ذات مساحة سطحية كبيرة وهو ما يحدث عادة في عمليات التبريد السريع. في حال إستخدام أنفاق تبريد سريع بمعدل 5 طن لدورة تبريد سريع تبلغ 4 ساعات فإن المساحة السطحية للمبخر عادة ما تكون في حدود 600 م$^2$.

لمحصول البطاطس وفي الأجواء الباردة فإن الماء يتكثف داخل أسقف المستودعات المبردة وفي حال ما كانت الرطوبة 93 % ودرجة حرارة المستودع 6°م فمن الممكن أن تتساقط قطرات الماء المتكثف علي الجدران الداخلية في حال ما كانت درجة الحرارة الخارجية أقل بمقدار 1°م. لمنع هذه الظاهرة وفي تلك الأجواء عادة ما يتم تركيب سخانات للحد من تكثف الرطوبة على السقف وعلى الجدران فتقوم تلك السخانات بدفع الهواء الساخن على الجدران والأسقف الباردة ومن ثم يصبح الهواء أسفل الأسقف والمجاور للجدران على نفس درجة حرارة الدرنات المخزنة وبالتالي لا يحدث التكثف.

## تغير حالة الرطوبة من سائل إلى بخار

لكي يحدث للماء تغير من حالته السائلة إلى الحالة البخارية فهو يحتاج إلي طاقة. الطاقة التي يتم إمتصاصها لإجراء تلك العملية هي طاقة غير ظاهرة أو بمعنى أخر طاقة كامنه (Latent heat) حيث أنها لا تغير في درجة حرارة الماء ولكن فقط تغير في حالته وهي عكس الطاقة المحسوسة (Sensible heat) والتي تغير في درجة الحرارة مع بقاء الشكل ثابتا. في حال وجود ماء على درجة حرارة 20°م ولكي يتم تبخيره فإنه يتطلب 2450 كيلو جول لكل كيلو جرام من الماء (حرارة كامنه) ، عكس ذلك في أنه فقط يحتاج 4.18 كيلو جول لكل كيلو جرام من الماء لرفع درجة حرارته درجة واحدة مئوية (حرارة محسوسة). في حال تبريد البطاطس فإن هواء التبريد المدفوع حول الدرنات يعمل على تبخير الماء من قشرة الثمار وبالرغم من أن كمية الماء التي يتم تبخيرها ضئيلة إلا أنها عظيمة التأثير (حيث أن الحرارة الكامنه للتبخير كبيرة جدا) فإن تلك العملية تسبب أكثر من نصف التأثير التبريدي (حوالي 55 %) الناتج عن الهواء البارد المدفوع خلال وفوق سطح الدرنات.

بناء عليه فإنه من الضروري فهم أهمية حدوث فقد في الوزن بفعل طبيعة عملية التبريد غير أنه يجب الحد منه والسيطرة عليه بحيث لا يؤثر علي الجودة أو على القيمة التسويقية للثمار. يقدم جدول (3.2) القيمة القصوى لفقد الماء المسموح والتي تؤثر جوهريا على المنتجات المختلفة للحاصلات البستانية والخضروات بحيث تصبح غير قابلة للتسويق.

## قياس الخواص السيكروميترية

كل الخواص السيكروميترية للهواء يتم تحديدها من خلال قياس خاصتين (ثلاثة إذا ما تم أخذ الضغط الجوي في الاعتبار) مثال على ذلك قياس درجة الحرارة الرطبة والجافة، أو درجة الحرارة الجافة والرطوبة النسبية وهما أسهل الخواص التي يمكن قياسهما بأرخص الطرق. حينئذ يمكن تحديد بقية الخواص بمساعدة الخريطة السيكروميترية . يمكن قياس العديد من المتغيرات لتحديد الحالة السيكروميترية للهواء لكن الأغلب والشائع قياس درجة الحرارة الجافة، الرطبة، درجة حرارة نقطة الندى، والرطوبة النسبية.

## درجة الحرارة الجافة

يمكن وبصورة بسيطة غير مكلفة قياس درجة الحرارة الجافة من خلال ترمومتر زجاج زئبقي حيث يجب أن يكون الترمومتر مقسما وعلى أقصى تقدير لـ 0.2°م وذلك إذا ما استخدم بالتزامن مع ترمومتر درجة الحرارة الرطبة بغرض تحديد ظروف غرفة التبريد. بالرغم من أنه يمكن إستخدام حساسات إليكترونية لدرجة الحرارة إلا أننا نوصي بالتقنيات البسيطة والغير مكلفة. يجب حماية الترمومتر من مصادر الإشعاع الحراري مثل المحركات والإضاءة والحوائط الخارجية والأشخاص ويتم هذا من خلال وضعه في مكان لا يستطيع الترمومتر من خلاله رؤيه الأجسام الساخنة أو بحمايته من الإشعاع الحراري من خلال تركيبات خاصة بذلك.

**جدول (3.2)**: أقصى فقد وزن لبعض المحاصيل والذي يصبح بعده المنتج غير قابل للتسويق (Thompson *et al*., 2008).

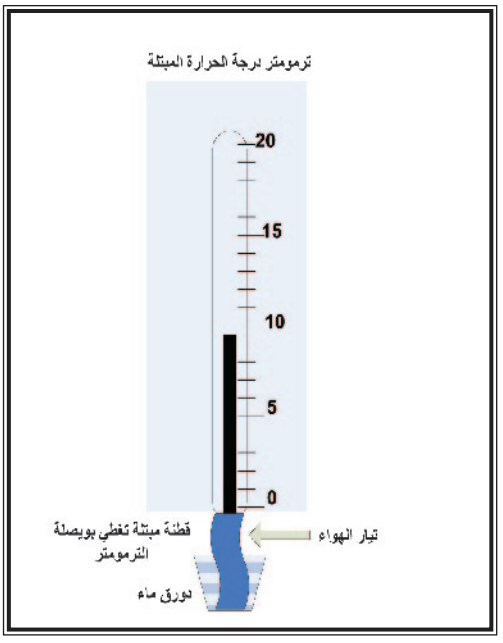
| المنتج | أقصى فقد للوزن (% من الوزن الطازج) | سبب الفقد |
|---|---|---|
| السبانخ | 3 | الذبول |
| البروكلي | 4 | الذبول والمذاق |
| الطماطم | 4 | التقلص والانكماش |
| الخس | 5-3 | التدهور والذبول |
| العنب | 5 | تقلص العناقيد وانكماشها |
| الكمثرى | 6 | الانكماش |
| الكرنب | 6 | الانكماش |
| التفاح | 7 | الانكماش |
| الجزر | 8 | الذبول |
| الفلفل الأخضر | 8 | الانكماش |
| الخوخ | 11 | الانكماش |
| الكوسة الصيفية | 15 | أصفرار العنق |

يمكن إستخدام الترمومترات التي تُمسك باليد أو البصيلة المقاومة أو ترمومترات المزدوج الحراري وجميع تلك الأدوات غالية الثمن مقارنة بالترمومتر الزئبقي لكنهم ليسوا بالضرورة أدق. بعض تلك الأجهزة لها مسبار بحيث يمكنهم قياس درجة الحرارة في قلب الثمار. يجب عدم إستخدام الترمومتر الزئبقي قرب المواد الغذائية نظراً لسمية الزئبق. توجد ترمومترات كحولية رخيصة أو عدادات حرارية ثنائية المعدن يمكن إستخدامها إذا ما تم معايرتها في الظروف الحقلية حيث يمكن إستخدام خليط من الثلج والماء كطريقة سهلة لإختبار المعايرة عند درجة صفر°م.

تم تطوير أجهزة حديثة وصغيرة الحجم وتسمى لاقطة بيانات (Data logger). يمكن تعبئتها مع عبوات المنتج وإسترجاع بياناتها من خلال برامج علي أجهزة الحاسب الآلي تقوم بتحليل تلك البيانات ورسم منحنيات العلاقة بين درجة الحرارة والزمن حيث توجد مرونة عالية في الضبط ووحدات القياس وغيرها من الخيارات. يمكن لتلك اللاقطات أن تستمر في تجميع البيانات لفترات طويلة حسب قوة البطارية الخاصة بها ووفقا لمدة وكثافة البيانات المطلوبة. يمكن أيضا الحصول على ذات المعدات ثنائية الفعل بحيث تغطي كل من درجة الحرارة الجافة والرطوبة النسبية.

أيضا توجد أجهزة قياس درجة حرارة تعمل بالأشعة تحت الحمراء حيث ترصد من مسافات بعيدة درجة حرارة الأسطح مثل المبخر وأسطح العبوات وجدران عربات النقل المبرد وغيرها من عناصر منظومة سلسلة التبريد وبدقة عالية غير أن هذا النوع من الأجهزة غالي الثمن.

## درجة الحرارة المبتلة




**شكل (4.2)**: ترمومتر درجة الحرارة المبتلة.

من الشائع إستخدام ترمومتر درجة الحرارة الرطبة بالتزامن مع ترمومتر درجة الحرارة الجافة لتحديد ظروف أو حالة نقطة الهواء على الخريطة السيكروميترية. ترمومتر درجة الحرارة الرطبة هو أساساً ترمومتر زجاجي عادي (بالرغم من أنه يمكن إستخدام حساسات إليكترونية لدرجة الحرارة) بفتيلة قطنية مبتلة تلتف حول البصيلة أو منتفخ الزئبق (شكل 4.2). حينما تتعرض الفتيلة لتيار الهواء فإنها تبرد لدرجة الحرارة الرطبة. تحدد كل من درجة الحرارة الجافة والمبتلة حالة الهواء على الخريطة السيكروميترية وبالتالي تحدد كل المتغيرات الأخرى. تعتمد القراءة الدقيقة لدرجة الحرارة المبتلة على حساسية ودقة الترمومتر وعلى المحافظة على سرعة هواء مناسبة تمر خلال فتيلة القطن المبللة، يجب أيضا حمايتة ضد الإشعاع وأن يستخدم ماء مقطر غير متأين لتبليل الفتيلة. تتباين الحساسية المطلوبة للترمومتر لتحديد دقة الرطوبة المقاسة وفقا لمدى درجات حرارة الهواء. الحساسية العالية تكون مطلوبة عند درجات الحرارة المنخفضة وليست العالية ومثال على ذلك أنه عند 65°م فإن خطأ بمقدار 0.5°م ينتج عنه 2.6 % خطأ في تقديرات الرطوبة النسبية ولكن عند صفر°م فنفس الخطأ يؤدي إلى 10.5 % خطأ في الرطوبة النسبية. نفس مفهوم درجة الحرارة المبتلة هو ما يحدث فعلا لثمار البطاطس حيث أنها تفقد الرطوبة بنفس طريقة القطنه المبتلة حيث عادة ما تحتوي البطاطس علي محتوى مائي في حدود 80 % غير أن قشرة البطاطس بعكس القطن المبلله تعمل على الحد من فقد الرطوبة ولذا فإن درنات البطاطس تبرد فقط لقيمة وسطى ما بين درجة الحرارة الجافة والمبتلة. يحدث هذا بصورة رئيسية لسطح كومات البطاطس في عملية التخزين الصب (Bulk) وذلك في حال إستخدام الجو العادي للتبريد حينما تسمح درجة الحرارة الخارجية في فصل الشتاء أو في الفترات الليلية.

في غالبية الحالات فإن المعايرة المطلقة لترمومترات درجة الحرارة الجافة والمبتلة لا تعد بأهمية التأكد من أن قراءتهم متساوية عند درجة حرارة معينة ومثال على ذلك إنه إذا ما كان كلاً الترمومترين يقرأ 0.5°م أقل فإن هذا سيؤدي إلى خطأ أقل من 1.3 % في الرطوبة النسبية عند درجة حرارة جافة بين 65°م وصفر°م (عند 5°م فرق بين درجة الحرارة الجافة والمبتلة). قبل تبليل الفتيل لترمومتر الحرارة المبتلة يجب تشغيل كلا الترمومترين بفترة كافية لتحديد ما إذا كان هناك أى فارق بين قراءتيهما، إذا ما كان هناك فارق أفترض أن هذا الترمومتر صحيح وعدل قراءة الترمومتر الأخر تبعا له عند تحديد قيمة الرطوبة النسبية.

معدل التبخر من الفتيل يتوقف على سرعة الهواء المار عليه حيث يتطلب الأمر سرعة هواء بقيمة 3 م/ث للقراءة الدقيقة والسرعة الأقل كثيراً من تلك القيمة تؤدي إلى قراءة عالية جداً لدرجة الحرارة المبتلة. أجهزة درجة الحرارة المبتلة والتي لا توفر سريان هواء مضمون لا يمكن الإعتماد عليها لإعطاء قراءة دقيقة.

وكما هو الحال مع ترمومتر درجة الحرارة الجافة فإن المصادر الإشعاعية مثل المحركات والمصابيح تؤثر على ترمومتر درجة الحرارة الرطبة ولذا يجب أخذ القراءات في مناطق محمية من تلك المصادر الإشعاعية أو يجب حماية الترمومترات من طاقة الإشعاع.

تراكم الأملاح من الماء غير النقي أو بسبب تلوث الهواء يؤثر على تبخر الماء من الفتيلة ويؤدي إلى أخطاء كبيرة ولذا يجب إستخدام ماء مقطر أو غير متأين لترطيب فتيلة القطن ويجب إستبدال الفتيلة إذا كان هناك أى علامات تلوث. يجب ألا تكون الفتيلة معالجة بأى مواد كيميائية مثل تلك التي تمنع الإنكماش وتؤثر على معدل تبخير الماء. لغالبية الظروف فإن بيانات درجة الحرارة الرطبة لا يعتمد عليها عندما تكون الرطوبة النسبية أقل من 20 % أو عندما تكون درجة الحرارة الرطبة أعلى من 100°م. عند المستويات

المنخفضة من الرطوبة فإن درجة الحرارة المبتلة تنخفض كثيراً عن درجة الحرارة الجافة ويصعب على ترمومتر الحرارة الرطبة أن يبرد بصورة كاملة بسبب إنتقال الحرارة من الزجاج أو العنصر المعدني، ولأن الماء يغلي عند أو في درجات حرارة أعلى من 100°م، لذا لا يمكن قياس درجات الحرارة تلك من خلال ترمومتر الحرارة المبتلة. عموماً سيكروميتري الحرارة الجافة والمبتلة جيد التصميم والتشغيل يمكن أن يعمل بدقة أقل من 2 % من الرطوبة النسبية الفعلية غير أن التشغيل غير الملائم يزيد من الخطأ بصورة كبيرة.

## الرطوبة النسبية

تستخدم حساسات إليكترونية مباشرة لقياس الرطوبة النسبية أو تستخدم نظم ميكانيكية مثل الهيجروميتر الكهربائي والذي يعتمد على مواد لها خواص كهربائية تتغير كدالة في المحتوى الرطوبي، فكلما زادت رطوبة الهواء المحيط بالحساسات تتأثر الخواص الكهربائية لها بقدر مناسب (للحساسات). تلك الأجهزة لم تعد غالية الثمن وهي متوفرة بسهولة غير أن المكان الخاطئ والظروف المحيطه غير الملائمة تؤثر على دقتها بقدر كبير وعادة ما تكون الدقة في حدود 3 % من القيمة الفعلية للرطوبة. تفقد الحساسات دقتها وعياريتها إذا ما سمح بتلوثها والبعض يفقد عياريته إذا ما تكثفت عليه قطرات الماء ولغالبية تلك الحساسات عمر تشغيلي محدد. عادة ما يستخدم الهيجروميتر الميكانيكي الشعر البشري كعنصر حساس حيث يتغير طول الشعر بالتناسب مع تغير رطوبة الهواء ويكون هذا التغير بطيء ولا يعتمد على نسبة رطوبة عالية. تلك الأجهزة تعتبر مقبولة كمؤشر على المدى العام للرطوبة لكنها غير مناسبة للقراءات الدقيقة. يجب عادة الإستعانة بأكثر من مقياس للرطوبة النسبية داخل الغرفة المبردة وفقا لحجم الغرفة ويأخذ متوسط تلك القراءات. يجب أن توضع تلك الأجهزة في أماكن بعيدة عن تيارات الهواء لكي لا تؤثر علي دقتها. يجب أن يراعى دائما صعوبة قياس الرطوبة النسبية في حال تجاوزها لقيمة 90 % لذا يوصى دائما بالفحص الدائم وعلى فترات قصيرة للمنتجات المخزنة.

## كيفية الحصول علي رطوبة مرتفعة داخل مخازن تبريد الخضروات والفاكهة

1- إحكام عزل غرف التبريد والتأكد من إحكام غلق أبوابها لمنع تسرب الهواء الساخن من الخارج والذي يعمل على خفض قيم الرطوبة النسبية. الطريقة الأسرع لإختبار ما سبق هو غلق الغرفة وإطفاء مصابيح الإضاءة الداخلية والقيام بفحص أى نتوءات ينفذ منها الضوء الخارجي سواء من الأبواب، الجدران، أو الأركان الأربعة ومن ثم إتخاذ ما يلزم لإصلاحها مع ملاحظة أن الأركان هي الأصعب في الإصلاح.

2- الحد من تسرب الحرارة الخارجية لغرف التبريد أو تسرب الهواء البارد للخارج من خلال تركيب شرائح ستائر بلاستيكية بتداخل فيما بينها لا يقل عن نسبة 20 %. يمكن أيضا تركيب أبواب بلاستيكية لكنها أقل فاعلية (شكل 5.2).

**شكل (5.2)**: أبواب بلاستيكية للحد من إختراق الهواء الخارجي لغرف التبريد.

3- حساسات درجة الحرارة الميكانيكية أقل دقة من الإليكترونية ومن ثم لغرف التبريد الكبيرة وللحصول علي نسب رطوبة عالية ينصح بتركيب الحساسات الإليكترونية.

4- يمكن الإستعانة بأواني ذات مساحة سطحية معرضة للهواء كبيرة لزيادة نسبة الرطوبة في الغرفة. من الضروري إضافة الكمية الملائمة من الكلور يوميا لمنع الأعفان .

5- ترطيب الأرضيات بصورة دائمة يساهم في زيادة الرطوبة داخل مستودعات التبريد بشرط مراعاة الإجراءات الصحية اللازمة لمنع تراكم الفطريات والبكتريا.

6- تركيب مرطبات من النوع الملائم وفي المكان الأمثل وهو في تيار الهواء الخارج من المبخر وقبل وصوله للمنتج. يجب الحرص في تشغيل تلك المرطبات وأن يتم تنقية ومعالجة الماء المغذي لها منعا لإنسداد أجهزة البخ أو الترذيذ بها.

7- تركيب مبخرات ذات مساحة سطحية كبيرة.

8- إختيار المبخرات بحيث يكون الفارق التصميمي بين درجة حرارة سطحها ودرجة حرارة الهواء الخارج منها أقل ما يمكن.

9- يجب عدم إستخدام سرعات زائدة لدفع الهواء وتدويره في غرف التبريد حيث ينصح بإستخدام متحكمات السرعة (Speed controller) أو ما يعرف بمغير تردد المحرك (Variable frequency drive) بغرض تغير السرعة وفقا لنوع المنتج ومتطلباته.

**الخلاصة**

- المنتجات المخزنة في الأجواء الخارجية الغير مبردة تفقد رطوبتها بسرعة أكثر من مائة ضعف مقارنة بتلك التي يتم حفظها مباشرة بعد الحصاد وفقا لسلسلة التبريد الخاصة بها.
- المنتجات المخزنة في مخازن مبردة والتي تم الحفاظ علي سلسلة التبريد لها تفقد أيضا جزء من رطوبتها حتى لو كانت قيمة الرطوبة النسبية في الأجواء المحيطة هي 100 %.
- يمكن للمنتجات الطازجة المخزنة في غرف التبريد العادية أن تستغرق ثمانية أيام للوصول لدرجة حرارة الغرفة المخزنة عليها لكن عادة ما تأخذ من حوالي 2-3 أيام وهذا يعتمد على درجة حرارة الهواء.
- المنتجات المخزنة بغرف التبريد تواصل فقد رطوبتها:
  - عند صفر°م ورطوبة نسبية 100 % تفقد جزء ضئيل جدا من رطوبتها.
  - عند صفر°م ورطوبة نسبية 90 % فإن سرعة الفقد تكون أكثر بست مرات.
  - عند صفر°م ورطوبة نسبية 80 % فإن سرعة الفقد تكون أكثر أثنى عشر مرة.

## الفصل الثالث

# أساسيات تبريد الحاصلات البستانية

### الملخص

سيتناول هذا الفصل شرح الأسس الخاصة بعملية تبريد الحاصلات البستانية الطازجة وآلية إنتقال الحرارة منها وإليها والعوامل الحاكمة لتلك الظاهرة بما فيها التعريفات الأساسية لإنتقال الحرارة بالتوصيل والحمل. سيتم التعرض للتصنيفات المختلفة ذات الصلة بعمليات التبريد الصناعي والتجاري وأيضا للفوارق بينها وأى الطرق أنسب للتطبيق على الحاصلات البستانية الطازجة ومميزات وعيوب كل طريقة. سيتم التعرض لأحد البدائل الإقتصادية للتحكم في درجة حرارة تلك المنتجات وهو التبريد التبخيري وكذلك التبريد بشاحنات النقل البري وما يجب مراعاته في هذا الإطار.

### مقدمة

تصنف أنظمة التبريد وفقا لعوامل عديدة غير أن التصنيف الأهم في مجال تبريد الخضروات والفاكهة هو نظام التمدد المباشر ونظام الماء البارد أو التبريد الثانوي (Chilled water system) . أيضا من التصنيفات الهامة التي سيتم التعرض لها هي التبريد الصناعي والتبريد التجاري حيث تصنف عمليات التبريد السريع كأحد عمليات التبريد الصناعي نظرا لمتطلباتها الخاصة سواء من حيث السعات التبريدية الكبيرة أو من ناحية أجهزة التحكم. سنستعرض فيما يلي فكرة عامة عن آلية تبريد المنتجات سريعة التلف والتي تعطي فهما أساسيا لوظائف المكونات الرئيسية لدورة التبريد غير أن عدم الإلمام التفصيلي بتلك الدائرة لا يعتبر عائقا لتشغيل مخازن التبريد بصورة كفوئة بحيث يتميز بزيادة العائد منها من خلال الصيانة الجيدة والتشغيل الأمثل في الظروف المختلفة. فيما يلي بعض التعريفات والمصطلحات التي سبق التعرض لها غير أن التأكيد عليها في هذا الجزء يعتبر ضروريا لفهم دورة التبريد وطبيعة التغيرات التي تحدث لوسيط التبريد المستخدم.

### الحرارة وتدفقها

الحرارة صورة من صور الطاقة ويتم قياسها عالميا بالجول وتؤثر على حركة الجزيئات وأحيانا على شكل تلك الجزيئات حيث أن أى مادة تتكون من جزيئات دقيقة سريعة الحركة، فمثلا إذا ما تم تسخين الماء فإن جزيئاتها تزداد نشاطا وباستمرار عملية التسخين يغلي الماء. تسري الحرارة من الأجسام الساخنة ذات درجة الحرارة المرتفعة للأجسام الباردة ذات درجة الحرارة الأقل سخونة. في حال تلاصق أو تواصل تلك الأجسام فإن الحرارة تنتقل بالتوصيل (Conduction). في حال غرف التبريد حيث يتم تدوير الهواء البارد حول عبوات الثمار (أو خلال الثمار الفردية في حال التبريد السريع) فإن إنتقال الحرارة يكون بتيارات الحمل الطبيعية (Free convention).

### درجة الحرارة

درجة الحرارة تعبر عن مدى كثافة وتركيز حرارة جسم معين. درجة الحرارة بمفردها لا تعطي قيمة لكمية الحرارة في المادة لكنها فقط توضح مدى سخونة الجسم. توضح "درجة الحرارة" مدى حركة الجزيئات في حين "الحرارة" هي حاصل ضرب حركة كل جزئ في العدد الكلي للجزيئات أو الكتلة المؤثرة.

### البرودة

البرودة تعبير نسبي يستخدم لوصف درجات الحرارة المنخفضة حيث ينتج التبريد "Refrigeration" برودة من خلال إزالة الحرارة من داخل حيز التبريد ومن ثم يتم طردها للهواء الخارجي من خلال دورة مغلقة يتم إجرائها على وسيط التبريد "Refrigerant".

## تأثير الحرارة والضغط

كل الموائع (الغازات والسوائل) تتأثر بالضغط ودرجة الحرارة فالماء على سبيل المثال يكون في الحالة السائلة ما بين درجتي حرارة صفر و 100°م عند مستوى البحر وفي ظروف الضغط الجوي العادي. في حال إنخفضت درجة حرارة الماء لأقل من صفر°م فإن الماء يتجمد ويتحول إلى الحالة الصلبة، في حين لو تم تسخينه إلى 100°م فإنه يغلي ويتحول إلى الحالة الغازية. في حال إنخفض الضغط الواقع على الماء فإن درجة الغليان تقل عن 100°م وبزيادة الضغط فإن درجة الغليان ترتفع عن تلك القيمة.

## الحرارة الكامنة (Latenet heat)

في حال ما غيرت المادة من شكلها (من الصلب إلى السائل أو العكس وكذلك من السائل إلى الغاز أوالعكس) فإنها إما تمتص حرارة أو تطلق حرارة وتكون درجة الحرارة للمادة ثابتة أثناء تلك العملية. للماء مثلا وبعد تسخينه إلى درجة الغليان يجب إضافة كمية من الحرارة قبل تحول الماء للبخار (الحالة الغازية) عند نفس درجة الحرارة. الحرارة المطلوبة لتغير شكل المادة من الحالة السائلة للحالة الغازية أو البخارية تسمى الحرارة الكامنه للتبخير في حين أن الحرارة اللازمة لتحويل الثلج من الحالة الصلبة للحالة السائلة تسمى الحرارة الكامنة للإنصهار. في عملية التبريد يقوم وسيط التبريد بإمتصاص الحرارة من حيز التبريد ومن ثم يتحول من الحالة السائلة للحالة البخارية بفعل تلك الحرارة والعكس يحدث في المكثف فيتحول وسيط التبريد والذي يكون في صورة غاز من الحالة البخارية للحالة السائلة طاردا الحرارة إلى الهواء الخارجي لكون الهواء الخارجي أبرد منه.

## الحرارة المحسوسة (Sensible heat)

الحرارة المحسوسة هي كمية الحرارة التي تضاف أو تحرر من المادة وتكون مصحوبة بتغير في درجة حرارتها مع بقاء شكلها ثابتا وتعتبر هي الأساس لحساب الحمل الحراري للمنتجات المطلوب تبريدها حيث بمعرفة فارق درجات الحرارة المطلوب إزالته (الفارق بين درجة الحرارة الإبتدائية للمنتج ودرجة الحرارة المرغوب الوصول لها)، الزمن المطلوب لإنجاز تلك العملية، وأخيرا الحرارة النوعية للمُنتج يمكن تقدير الحرارة الكلية المطلوب إزالتها لتبريد ذلك الحمل من المنتج في الزمن المحدد.

## السعة التبريدية (Cooling capacity)

يتم تصنيف معظم أنظمة التبريد التجاري والصناعي في العالم من خلال ما يعرف بالطن تبريدي ويستخدم مصطلح أخر على نطاق واسع في أجزاء أخرى من العالم وهو الكيلو وات (ك.وات). جذور مصطلح الطن التبريدي هو صناعة الثلج حيث أرادت الشركات المصنعة للثلج إستحداث طريقة بسيطة وسهلة لفهم حجم نظام التبريد من حيث إنتاج الثلج. الطن التبريدي هو كمية الحرارة اللازم سحبها من 1000 كجم من الماء على درجة حرارة الصفر المئوي في زمن قدرة 24 ساعة بغرض تجميده. كميه الحرارة تلك هي 3.517 ك.وات. ولتقريب هذا المفهوم فإن غالبية مكيفات الهواء المنزلية تتراوح من 1 إلى 5 طن تبريدي أي من 3.5 إلى 17.5 ك.وات. في حين تبلغ السعات التبريدية الكبيرة لنظم التبريد 800 طن تبريدي أى 2.8 ميجاوات.

## وسيط التبريد

تستخدم العديد من الموائع كوسائط تبريد أشهرها هوR22، 134A ، البروبان، الأمونيا وثاني أكسيد الكربون . غالبية تلك الوسائط عديم اللون وتكون في حالة سائلة عند درجات الحرارة الأدنى من درجة الغليان لها فمثلا درجة الغليان لـ R22 هي - 40.76 °م. غالبية تلك الوسائط غير سامة أو قابلة للأشتعال باستثناء الأمونيا عند تركيزات عاليه. أيضا غالبيتها غير مسبب للإنفجار باستثناء البروبان والأمونيا طالما تجاوزت حدود التركيزات الآمنة.

## دائرة التبريد الميكانيكية بالتمدد المباشر

غالبية نظم تبريد الحاصلات البستانية في الوطن العربي وكذلك في الكثير من دول العالم تعمل بنظام التمدد المباشر . نظام التمدد المباشر هو نفس النظام المستخدم مع عربات النقل المبرد وحاويات الشحن البحري. يعتمد النظام على تمدد وسيط التبريد بصورة

مباشرة ليتحول من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية في مبادل حراري داخل حيز التبريد حيث يتبادل الحرارة مع الهواء المار خلاله والذي يتم سحبه (بعد تمريره على المنتج ومن ثم يكون الهواء ساخنا) ومن ثم طرده من خلال مراوح مثبتة على سطح المبخر وذلك بعد سحب الحرارة منه. الحرارة التي سحبت من الهواء تنتقل لوسيط التبريد وتسبب غليانه ليتحول من السائل إلى الغاز. أيضا هذا هو النظام التي تعمل به كل نظم العرض المبرد في محلات بيع الخضروات والفاكهة (الهيبر والسوبر ماركت). نظم التمدد المباشر تعتمد على نوعية من الضواغط والمعدات التي تنتج بكميات هائلة على مستوى كثيف ومن ثم تكون رخيصة الثمن ومتاحة بأسماء تجارية مختلفة غير أن نظرية التبريد وآلية إنجاز سحب الحرارة من المنتجات المبردة تعتبر واحدة بصرف النظر عن التصنيفات المختلفة. فيما يلي سيتم شرح آلية عملية التبريد التي تتم للخضروات والفاكهة بصورة عملية ومختصرة دون الدخول في تعقيدات نظرية:

1- درجة حرارة الهواء داخل غرفة أو مستودع التبريد تكون أقل من درجة حرارة حمولة المستودع من المنتجات الطازجة، وبالتالى فإن الحرارة تنتقل من عبوات الفاكهة (أو الثمار الفردية في حال التبريد السريع) إلى الهواء المحيط بفعل الفارق في درجة الحرارة. تتم عملية إنتقال الحرارة بطريقة الحمل (Convention). يتم سحب الحرارة عن طريق حركة طبقات الهواء البارد واحتكاكه بسطح الثمار من الخارج لتتسبب في نقل الحرارة من المناطق الدافئة (الثمار) للمناطق الباردة (الهواء). يسمى الحمل الحراري هنا طبيعي حيث يحدث بسبب التغير في كثافة طبقات الهواء.

2- خلال عملية التبريد يحدث تدرج في درجة الحرارة داخل الثمار وكلما زادت سرعة عملية التبريد يزداد هذا التدرج حيث يعتبر خاصية من خصائص المنتج ويعتمد على الكثير من العوامل. كلما زاد حجم الثمرة وكثافتها الداخلية كلما كان هذا التدرج بطيئاً مثل القاوون (الكانتلوب) وتستغرق عملية التبريد زمنا طويلا على عكس الفراولة ذات الكثافة الأقل والحجم الأصغر والمساحة السطحية الكبيرة مقارنة بوزنها. أيضا عمليات التغليف الخارجية والعبوات المتعددة تعمل على مقاومة هذا التدرج وتبطئ منه.

3- المبخر في غرفة التبريد يحتوي على وسيط التبريد (الفريون في حال أنظمة التمدد المباشر) والذي يكون له ضغط ودرجة حرارة منخفضة وفي صورة خليط معظمة سائل. حينما يمر الهواء على المبخر بعد مروره على المنتج وإحتكاكه به يسبب إرتفاع في درجة حرارة الهواء، يقوم الهواء وبفعل مروره على سطح المبخر البارد بنقل الحرارة مباشرة لوسيط التبريد بداخل مواسير المبخر ومن ثم تمتص الكثير من تلك الحرارة ليتحول وسيط التبريد بفعل تلك الحرارة من الحالة السائلة إلى الحالة البخارية (بفعل غليانه) ومن ثم يتم دفع الهواء من جديد لمحيط الغرفة باردا بعد إزالة الحرارة منه. يعمل المبخر هنا كمبادل حراري بين وسيط التبريد وهواء الغرفة.

4- بتدفق وسيط التبريد (مثل غاز الفريون) داخل المبخر، فإنه يجعل سطح ومواسير وزعانف المبخر أكثر برودة من الهواء المدفوع والراجع خلالها دائما بفعل شفط أو سحب المراوح المثبتة على المبخر والتي تقوم بتدوير الهواء خلال محيط الغرفة، وبالتالى فإن عملية إزالة الحرارة من المنتج تستمر.

5- بمرور الوقت يزداد الإنخفاض في درجة حرارة المنتج بفعل الإنتقال المستمر للحرارة إلى وسيط التبريد.

6- يتحول وسيط التبريد بفعل الحرارة الممتصة إلى الحالة البخارية (بخار محمص أى درجة حرارته أعلى من 100°م) حيث يتحول من الضغط المنخفض وبفعل الضاغط إلى الضغط المرتفع. ترتفع درجة حرارة غاز وسيط التبريد المضغوط ويزيد محتواه الحراري بفعل الضغط بالإضافة للحرارة التي حملها من حيز التبريد.

7- يتجه البخار المحمص لوسيط التبريد ذو الضغط المرتفع ودرجة الحرارة العالية إلى المكثف ليتم تكثيفه من خلال الهواء الجوي حيث أن درجة حرارته تكون أعلى من درجة حرارة الهواء الجوي بما لا يقل عن 5°م وتتغير حالته من الحالة الغازية

إلى الحالة السائلة عن طريق نقل الحرارة المكتسبة من حيز التبريد والحرارة المكتسبة من الضاغط إلى الهواء الجوي. تلك العملية تعتبر عكس ما يحدث في المبخر. يمكن لعملية التكثيف أن تتم بالعديد من الطرق ومنها التبريد بالهواء أو التبريد المائي من خلال المكثفات التبخيريه أو الأبراج المائية. حتى الأيام ذات درجات الحرارة العالية (45°م) فإنه يمكن استخدام الهواء الخارجي في عملية التكثيف بشرط أن تكون المساحة السطحية للمكثف كبيرة.

8- يتم تخزين وسيط التبريد عقب خروجه من المكثف في خزان يتحمل الضغط العالي الذي يكون عليه سائل وسيط التبريد. تتم تغذية المبخر بكميات محددة من وسيط التبريد في حال الحاجة إليه حيث يوجد صمام تمدد (Expansion valve) في أنظمة التمدد المباشر وظيفته أستشعار مدى الحاجة لكميات من وسيط التبريد لتغذية المبخر بها وذلك وفقا لكمية البخار المحمص ودرجة حرارته عند خروجه من المبخر ومن ثم يقوم بإمداد المبخر وتعويضه بالكمية الملائمة.

9- الدورة السابقة للمراحل المختلفة التي يمر بها سيط التبريد تعتبر دورة مغلقة ونقطة البدء بها هي نقطة الإنتهاء حيث بتكرار الدورة السابقة يتم الوصول لدرجة الحرارة المرغوبة للمنتجات المخزنة ويتم إنجاز عملية التبريد.

10- يستمر عمل دورة التبريد للتخلص من أى أحمال حرارة إضافية في الغرفة (بغرض الحفاظ على درجة الحرارة المرغوبة) مثل حرارة التنفس، حمل الإضاءة، الهواء الساخن المتسرب بفعل فتح الأبواب، وغيرها من المصادر الحرارية الأخرى.

11- تشتمل الدورة السابقة على العديد من الأجهزة الإضافية والتي تقوم بحماية المعدات وبالتحكم في عملية التبريد وفقا للمتطلبات التصميمية لها وكذلك لإتاحة الفرصة لمعرفة أداء دورة التبريد أو أى أعطال ربما تظهر بها وتؤثر على أدائها مثل تلوث وسيط التبريد بالماء أو الهواء فضلا عن تسربه.

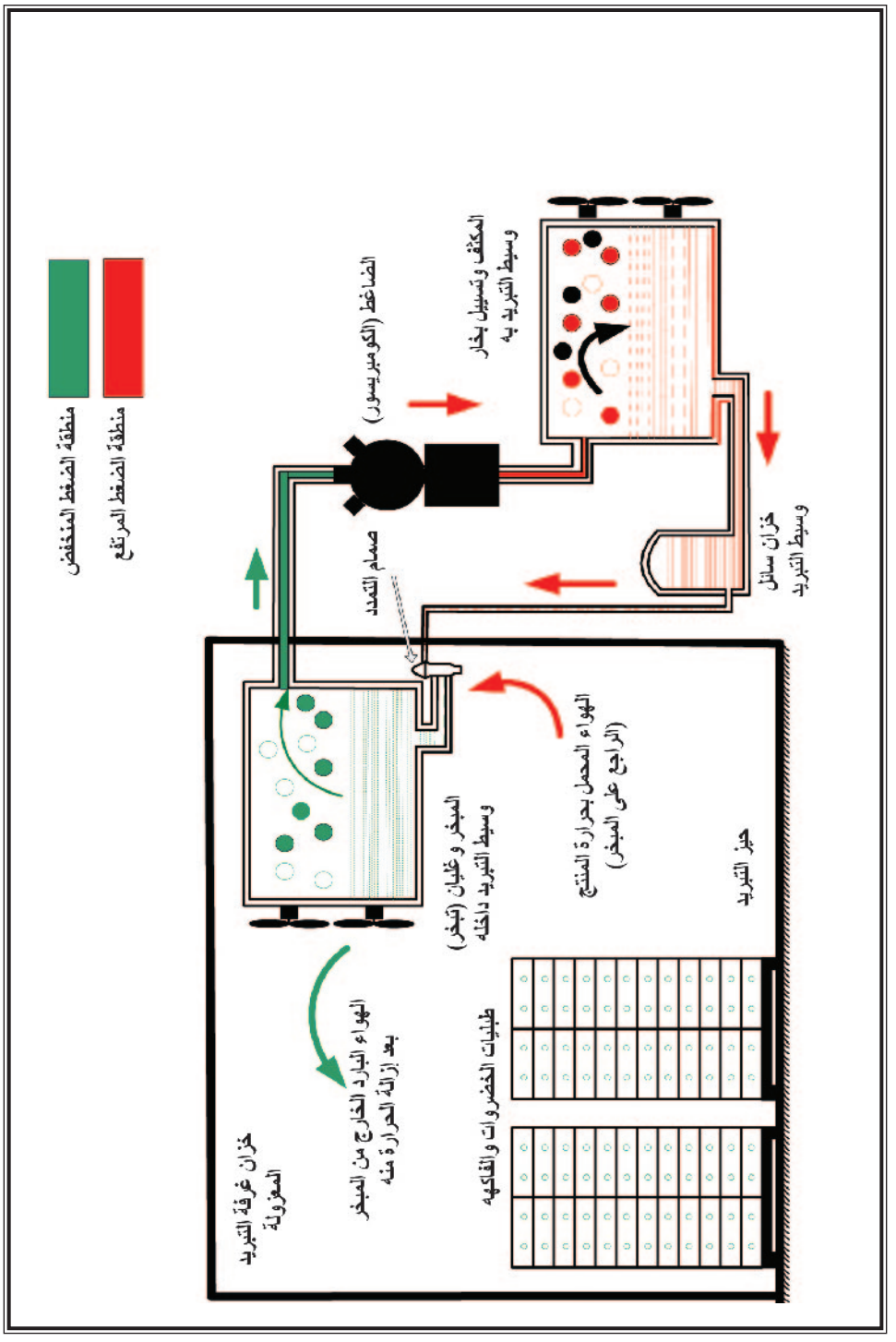
يوضح شكل (1.3) تفاصيل دائرة التبريد بالتمدد المباشر حيث تقسم الى قسمين: منطقة الضغط العالى ومنطقة الضغط المنخفض.

## عيوب ومميزات نظام التمدد المباشر

لنظام التمدد المباشر السابق شرحه العديد من المميزات غير أن له العديد من المآخذ بعكس نظام التبريد بالماء البارد أو النظام الثانوي حيث يمكن إجمال المميزات والعيوب فيما يلي:

### مميزات النظام

1- رخص رأس المال المنفق في البداية.
2- سرعة عملية التوريد والتركيب وذلك بالنسبة لكافة عناصر النظام حيث أنها متاحة وبسعات متعددة.
3- مناسب لعمليات الحفظ على درجة حرارة ثابتة طوال الوقت أى عمليات التخزين للمنتجات التي تم عمل تبريد سريع لها والوصول لدرجات حرارة التخزين شبه النهائية المرغوبة.
4- مناسب للسعات التبريدية الصغيرة والمتوسطة (أقل من 100 طن تبريدي) وللأغراض قصيرة الهدف.
5- يمكنه تغطية نطاق واسع من درجات الحرارة سواء التجميد أو التبريد.
6- الأنسب لشاحنات النقل المبردة وحاويات النقل البحري والمبردات المنزلية.
7- الأشهر استخداما في جميع أسواق الجملة والهيبر والسوبرماكت في الوطن العربي.
8- توفر المهارات الفنية لصيانته ولتركيباته وتوفر قطع غياره بصورة عامة.




**شكل (1.3)**: تفاصيل دائرة التبريد بالتمدد المباشر. منطقة الضغط العالي تشتمل على الضاغط، المكثف، وخزان السائل. منطقة الضغط المنخفض تشتمل على صمام التمدد والمبخر.

## عيوب النظام

1- ليس مناسبا للبيئة نظرا للكميات العالية المستهلكة من وسائط التبريد والتسريبات العالية والتي تصل إلى 30 % خاصة في السوبر ماركت.

2- التكلفة الباهظة لوسائط تبريد تلك الأنظمة بالمقارنة بوسائط التبريد الطبيعية مثل الأمونيا وثاني أكسيد الكربون.

3- صعوبة التحكم في مستوى الرطوبة النسبية وخاصة لعمليات التبريد السريع ومن ثم تسبب فواقد كبيرة في وزن المنتجات المخزنة.

4- طبيعة عملية التبريد السريع بأحمالها العالية والمتغيرة تؤدي لخسائر كبيرة في ضواغط التبريد (كسر الضواغط الترددية) وذلك في غيبة معدات التحكم المناسبة.

5- محدودية السعات المتاحة في الأجواء الصيفية شديدة الحرارة نظرا لقلة كفاءة مكثفات تبريد الهواء المستخدمة مع تلك الأنظمة.

6- إرتفاع تكاليف التشغيل بفعل الإستهلاك العالى للطاقة بفعل محدودية خطوات التحكم في السعة وظروف التحميل الجزئي وخاصة في التصميم للسعات التبريدية العالية.

7- يعتمد نظام التمدد المباشر في إذابة الصقيع على السخانات الكهربائية المزود بها كل مبخر ومن ثم يشكل إجمالى الطاقة الحرارية المطلوبة لإذابة الصقيع جزء يومي هام من الطاقة المستهلكة وهي تعد طاقة غير مفيدة ولا تستهدف سحب حرارة المنتج بل تعمل على زيادة الحمل الحراري للغرف أثناء عملية الإيقاف في فترة إذابة الثلج.

**شكل (2.3)**: المساحات الكبيرة المطلوبة لمعدات التبريد بنظام التمدد المباشر.

8- قصر العمر الإفتراضي للمعدات الميكانيكية نظرا لكثرة الأجزاء المتحركة بهذا النظام (الضواغط) مقارنة بأنظمة التبريد الأخرى.

9- صعوبة وتكلفة عمليات الصيانة نظرا لكثرة الأجزاء المتحركة وطول شبكة مواسير سريان وسيط التبريد والتي تصل للعديد من الكيلومترات خاصة للسوبر ماركت والهيابر ماركت.

10- تقنيات التمدد المباشر تعد تقنيات قديمة ومجال التحديث فيها محدود مقارنة بأنظمة أخرى متطورة وحديثة ملائمة للبيئة، موفرة للطاقة، وذات عمر إفتراضي طويل.

11- المساحة التي تطلبها تلك الأنظمة كبيرة ومكلفة في حال ندرة الأرض (شكل 2.3).

## نظم التبريد التجاري

طبيعة الحمل الحراري للخضروات والفاكهة حمل حراري كبير ومتغير ففي بداية عملية التبريد يصل لذروته ومن ثم ينخفض بمضي زمن بدء التبريد. سبب كبر الحمل الحراري هو الحرارة الحقلية التي تحتويها الثمار بفعل تعرضها لأشعة الشمس لساعات طويلة وخاصة في الدول العربية حيث الأجواء المناخية الجافة والحارة. يتطلب الأمر في كثير من الأحيان تخزين المنتجات كمواد أولية خام لحين فرزها وتعبئتها أو تصنيعها لاحقا (التبريد ما قبل التعبئة). مشاكل التبريد الناتجة من تجميع العبوات في صورة بالتات أو الناتجة بفعل مواد التبطين الداخلية عادة ما يتم تجنبها عن طريق تبريد المنتج قبل التعبئة (شكل 3.3) غير أن تلك الطريقة تزيد من تكلفة التبريد وذلك إذا ما تمت قبل عمليات الفرز والتدريج بفعل إرتفاع الحمل الحراري للمنتجات وكونها غير محمية ومن ثم يكون الفقد المائي بها مؤثرا جدا على تداولها في المراحل التالية ونظرا لهدر الطاقة الموجهه للتبريد لنسبة من الثمار سيتم إستبعادها لاحقا. نظم التمدد المباشر غير مصممة لهذا الغرض.

إذا ما تم فرز 20 % بعد التبريد فهذا يعني زيادة تكلفة التبريد بـ 25 % أما إذا ما تم فرز 50 % فإن تكلفة التبريد لطن المنتج المعبأ تتضاعف وهذا يرجع لأسباب عديدة منها ضعف كفاءة نظم التمدد المباشر للتعامل مع تلك الأحمال الحرارية المتغيرة حيث يضخ صمام التمدد كميات كبيرة من وسيط التبريد لتغذية المبخر لمحاولة إستيعاب تلك الأحمال الحرارية الكبيرة من خلال دفع كميات كبيرة من وسيط التبريد والذي لا يجد فرصة للوصول لمرحلة الغليان أى للتحول بالكامل من الحالة السائلة إلى الحالة البخارية. يحدث لاحقا أن يتجه خليط من بخار وسائل وسيط التبريد للضاغط ليقوم بضغطه ورفع درجة حرارته غير أن الضاغط

لا يسحب هنا بخار محمص لكن خليط من السائل والغاز. الضواغط مصممة فقط للتعامل مع الغازات فتكون عرضة للكسر في حال ما تم دفعها لتقوم بضغط السوائل.

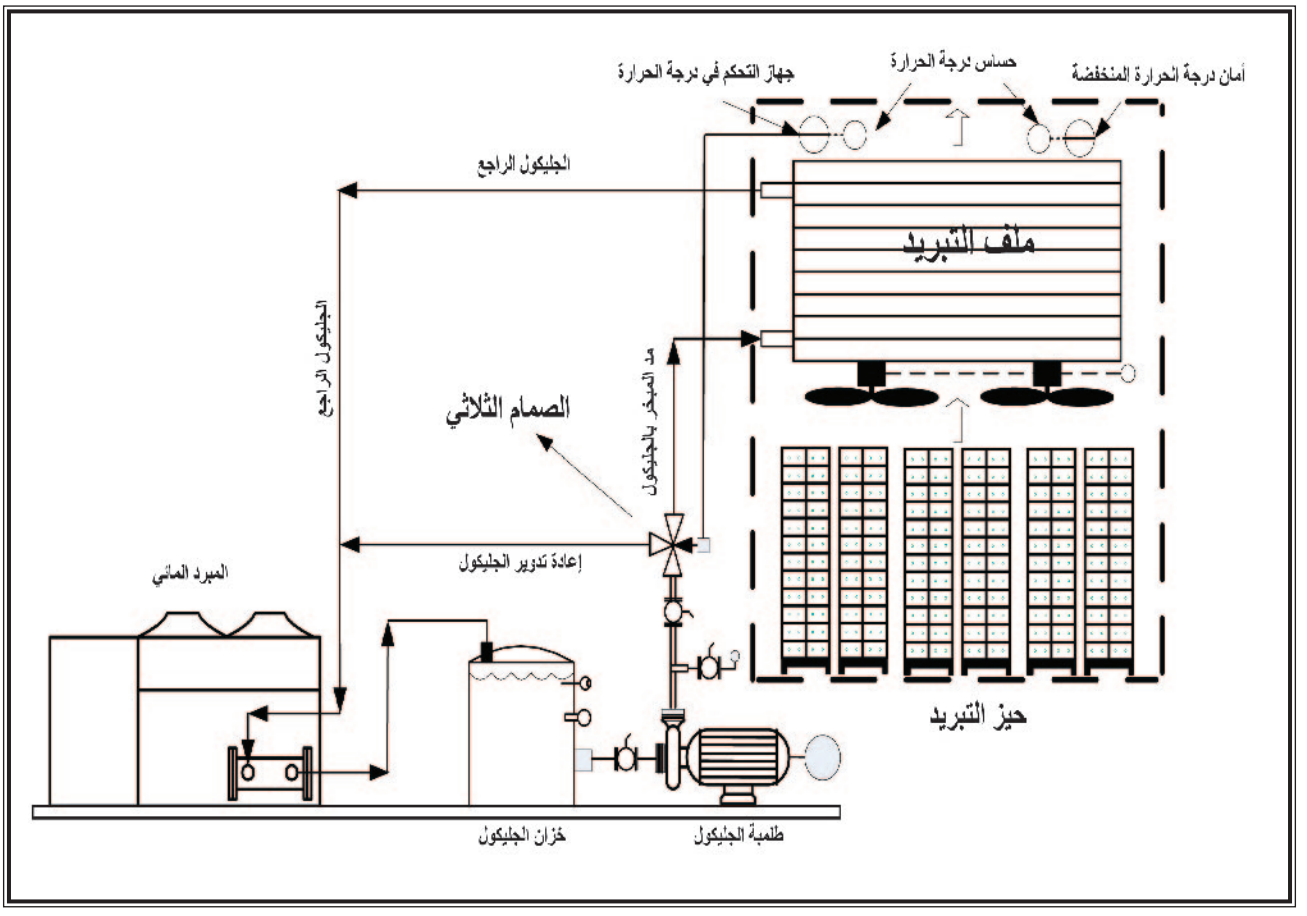
**شكل (3.3)**: تبريد ثمار العنب قبل التعبئة.

## نظم التبريد الثانوية
## (Chilling water system, Secondary system)

سيقتصر هذا الجزء على الشرح الموجز لنظام التبريد باستخدام الماء البارد (Chilling water system) حيث أنها الأفضل فنيا وإقتصاديا للتطبيق في مجال تبريد وحفظ الحاصلات البستانية.

يعتمد هذا النظام على غاز الفريون أو أي من الوسائط الأخرى مثل النشادر أو ثاني أكسيد الكربون كوسيط تبريد مبدئ (Primary refrigerant) والذي يقوم بتبريد الماء (وسيط التبريد الثانوي Secondary refrigerant) والذي يتم خلطه بنسب معينة من مانع التجمد (بروبلين جليكول غالبا) وفقا لدرجات الحرارة المطلوب العمل عليها ليتم دفع خليط الماء والجليكول لملفات التبريد أو المبادلات الحراريه (المبخرات) ليتم فيها تبريد الهواء المدفوع خلال صناديق المنتج. تلك التقنية أصبحت شائعة الاستخدام في العقد الأخير نظرا لما لها من مميزات. في نظام التبريد الثانوي يكون هناك دائرتين منفصلتين الأولى تكون بالأساس لوسيط التبريد المبدئي والتي تعمل على تبريد خليط من الماء المختلط بأحد موانع التجمد ليتم خزنه في خزان معزول. تعمل تلك الدورة باستمرار لضمان بقاء درجة حرارة هذا الخليط ثابتة عند درجات حرارة في حدود -5°م إلى -8°م وذلك في حال الرغبة في درجة حرارة نهائية للمنتج على درجة صفر°م. الدائرة الثانية تتم من خلالها عملية التبريد للمنتج بدفع خليط الماء والجليكول خلال ملفات التبريد حيث تقوم مضخة خاصة بسحب خليط الماء من الخزان ودفعه لملفات التبريد (تسمى مبخرات في حال التمدد المباشر). يقوم تيار خليط الماء والجليكول بسحب الحرارة من الهواء المدفوع خلاله ليعود ثانية إلى الخزان حيث ترتفع درجة حرارته وعلى سبيل المثال بقيمة 3 درجات مئوية ليعود بدرجة حرارة -5°م ويخلط ببقية السائل البارد والذي يكون دائما على درجة حرارة -8°م والذي تعمل دائرة التبريد الأولى على حفظه دائما عند تلك الدرجة ليتم خفض درجة حرارته من جديد ويعاد دفعه لملفات التبريد مرة أخرى حسب الحاجة. الخزان الخاص بخليط الماء والجليكول يسمى بخزان الدعم (Buffer tank) وهو حلقة الوصل بين المنتج وبين ما يتلقاه من تبريد بحيث لا يتعرض المنتج لوسيط التبريد الأولى بصورة مباشرة ومن ثم يسهل تماما التحكم في فرق درجات الحرارة بين وسيط التبريد داخل ملفات التبريد وبين الهواء المدفوع خلالها، وهو المسئول بصورة رئيسية عن نسبة الرطوبة بداخل غرف التبريد. كما سبق ذكره كلما قل هذا الفارق كلما إرتفعت نسبة الرطوبة النسبية وقل بالتالى فقد الماء من المنتجات والعكس صحيح. في تلك الأنظمة يمكن الوصول لنسب رطوبة في حدود 90-95 % من خلال تقليل الفاقد في فارق درجات الحرارة عبر ملفات التبريد إلى 1°م. يتم ذلك من خلال صمام ثلاثي الوظيفة والموضح في شكل (4.3). يغذي هذا الصمام ويتحكم في عمله حساسات إليكترونية لدرجة الحرارة موضوعة في تيار الهواء الى المبخر وبناء على تلك الدرجة ووفقا للظروف التصميمية المطلوبة لهذا الفارق التي تم ضبط الصمام عليه يقوم الصمام بآداء أي من الخيارات التالية:

- في حال كانت درجة حرارة الهواء العائد كبيرة يتم دفع خليط الماء والجليكول بإتجاه خزان السائل لطرد الحرارة التي يحملها وتبريده من جديد.
- في حال كان الفارق في حدود المطلوب يتم عمل دائرة مغلقة على ملف التبريد ويعاد تدوير نفس الخليط مرة أخرى في الملف.
- في حال كان الفارق أعلى بدرجة بسيطة من المطلوب، يتم خلط جزء من العائد بجزء من الخليط القادم من الخزان ومن ثم دفعه بإتجاه ملف التبريد.




**شكل (4.3)**: دائرة التبريد الثانوي لمخازن تبريد الخضروات والفاكهة .(Tator and Elansari, 1998)

يوضح شكل (5.3) أحد تلك المبردات والتي تم تركيبها حديثا بأحد المشاريع بالوطن العربي لمستودعات تخزين البطاطس. تميزت تلك الوحدات بتضمينها لكل من المكثف (تبريد هواء)، مضخات الجليكول الأساسية والإحتياطية، بالإضافة لضواغط التبريد (والتي كانت من النوع المقفل) في هيكل واحد. يوضح الشكل محطة دفع خليط الماء والجليكول (بروبلين) بتلك الوحدة، ضواغط التبريد، وملفات التبريد (المبادلات الحرارية) بداخل مستودع البطاطس وهي من النوع ذات الإرتكاز الأرضي وسيتم شرح هذا النظام لتبريد البطاطس لاحقا. هذا النظام بتلك النوعية من الضواغط ساهم كثيرا في تطوير أداء وإقتصاديات نظم التبريد بالماء لمجال حفظ الخضروات والفاكهة حيث أصبحت مُنافسة بشكل جيد وذلك للأحجام الصغيرة والمتوسطة لنفس السعات المقابلة لها من نظم التمدد المباشر. تنتشر تلك النظم في العديد من محطات التعبئة على إمتداد الوطن العربي في الفترات الأخيرة خاصة للمحاصيل النقدية ذات عوائد التصدير المربحة مثل عنب المائدة، الفراولة، القاوون، المانجو، الفاصوليا الخضراء، وزهور القطف في مصر. تطبق تلك النظم أيضا في مجال التبريد السريع.

مميزات تلك الأنظمة تشتمل على طول العمر التشغيلي لها وبساطة عملية الصيانة والتركيب حيث يمكن لشبكة المواسير أن تكون من البلاستيك وكذلك خزان الجليكول. أيضا يمكن لدائرة التبريد أن تعمل إما بدوائر التمدد المباشر أو بالأمونيا. من الأهمية بمكان المحافظة على تعادلية خليط الماء والجليكول لتفادي أى تآكل في الملفات الخاصة بالمبادل الحراري.

## مقارنة نظم التبريد التجاري والصناعي

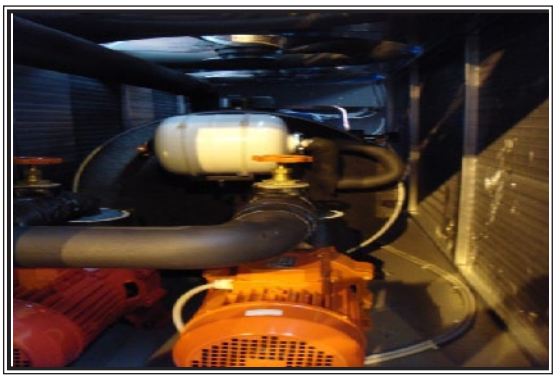
التصميم الجيد لمخازن تبريد المنتجات سريعة التلف يجب أن يراعي العديد من العوامل ومن أهمها الحفاظ على جودة تلك المنتجات وخفض التكاليف التشغيلية من خلال خفض نسبة الفاقد بالإضافة إلى تحسين الوضع التنافسي لتحقيق الربحية المطلوبة. نظم التمدد المباشر غير مرنة في التعامل مع الأحمال المتغيرة لطبيعة عمليات الخزن المبرد والتبريد السريع. غير أن النظم التجارية أحيانا

تعتبر مناسبة لبعض الظروف التشغيلية من حيث الحجم، رأس المال المرغوب إنفاقه، والغرض من التبريد (طويل أم قصير الأمد). في هذا الإطار وللتفريق ما بين نظم التبريد التجاري (نظم التبريد بالتمدد المباشر) والصناعي فيمكن تلخيص نطاق إستعمال وتطبيق كلا النظامين والفوارق بينهما في جدول (1.3) مع ملاحظة إستثناء المقارنات الفنية الأخرى لجدوى تطبيق تلك النظم في مجال الحاصلات البستانية والخضروات حيث سيتم التعرض لها في الفصول التالية.

**التبريد التبخيري**

تعد تلك الطريقة مفيدة وإقتصادية لخفض درجة الحرارة لبعض الحاصلات في المناطق الصحراوية حيث يشيع إستخدامها أيضا في بيوت التعبئة في نفس البيئة لكنها تعتبر غير مجدية في المناطق الساحلية لإرتفاع نسبة الرطوبة. في طريقة التبريد التبخيري يتم تبريد الهواء من خلال مبرد تبخيري بدلا من الطريق الميكانيكية وفي حال التصميم والتشغيل الصحيح فإن المبرد التبخيري يوفر هواء بدرجة حرارة أعلى قليلا من درجة الحرارة الرطبة للهواء الخارجي وبرطوبة نسبية أعلى من 90 %. يمكن الوصول بدرجة حرارة المنتج إلى 16 - 21 °م في بعض المناطق الجافة في الوطن العربي. طريقة التبريد تلك ربما كانت مناسبة لبعض المنتجات التي تخزن في درجات حرارة متوسطة أو معتدلة مثل الطماطم أو للمنتجات التي تُسوق بسرعة عقب عملية الحصاد. التحديثات في تلك النوعية من التقنيات محدودة ولم يتم خلال العقود الماضية تطوير نماذج تجارية يمكن أن تحدث تطوير جوهري بها بإستثناء دراسة حديثة تم من خلالها تطوير مبرد تبخيري ذو مرحلتين لتبريد الطماطم حيث وفر المبخر رطوبة نسبية تراوحت من 50 إلى 75 % داخل المخزن و90 % عند مخرج جهاز التبريد التبخيري مقارنة بـ 15-40 % للهواء الخارجي في حين تراوحت درجة الحرارة الداخلية من 17 إلى 22 °م مقارنة بالخارجية 21-33 °م. عمل المبرد التبخيري ذو المرحلتين بكفاءة أعلى من المبرد ذو المرحلة الواحدة بحوالى الضعف. أيضا ولنفس المحصول وجد أن فقد الوزن قد إنخفض وحدث تباطأ في نضج الثمار، ومن ثم زاد العمر التسويقي بإستخدام التبريد التبخيري مقارنة بعدم إستخدام التبريد. أيضا تم الحصول على درجة حرارة تراوحت من 20 إلى 22 °م ورطوبة نسبية من 90 إلى97 % عند درجة حرارة خارجية من 16.5 إلى 35.5 °م، ورطوبة نسبية 36.3 - 93.8 % بإستخدام التبريد التبخيري حيث تم خفض الفقد في الوزن إلى 30 % بالمقارنة بالتخزين في ظروف الهواء الجوي العادي وزاد العمر التسويقي من 6 إلى 10 أيام، أيضا تحسنت صلابة ثمار الطماطم في الحالة الأخيرة. لمحاصيل أخرى مثل الخس حسّن التبريد التبخيري

**شكل (5.3أ):** مبرد مائي لمحطة تبريد خاصة بالبطاطس (أعلى) وملفات التبريد بغرف البطاطس (أسفل).



**شكل (5.3 ب)**: طلمبات تدفق الجليكول (أعلى) وضواغط التبريد (أسفل) لنفس المبرد.

من جودة المنتج المخزن من خلال الرذاذ والذي عمل على تقليل فارق الضغط الجزئي بين بخار الماء وسطح المنتج بأكثر من 80 % حيث وجد إنخفاض في فقد الماء من 12 إلى 2 % عند إستخدام التبريد التبخيري.

في غالبية الأحيان يمكن للمزارعين بناء مبردهم التبخيري بدفع الهواء بأنفسهم. هذه النوعية من المبردات تعد إقتصادية من حيث إستهلاك الطاقة بالمقارنة مع نظم التبريد الميكانيكية وفي حال ما تم تصميمها بصورة مناسبة فإنها توفر هواء بنسبة عالية من الرطوبة. غالبية المستودعات التي تطبق تلك التقنية لا تقوم بعزل جدرانها (شكل 6.3).

**شكل (6.3)**: عدم عزل جدران غرف التبريد التبخيري.

أيضا تستخدم بعض الشركات الكبرى الواقعة في قلب الصحراء تلك التقنية لتبريد البطاطس كما هو في شكل (7.3) غير أنها قليلة الفاعلية. يجب أن يراعى التعقيم الدائم للمياه والتنظيف الدائم للللباد المستخدم لكي لا يكون مصدر للعدوى بفعل تراكم الماء داخله. لا يمكن أن تستخدم عبوات كرتونية مع المبردات التبخيريه لكن يفضل إستخدام العبوات البلاستيكية والتي لا تتأثر بقطرات الماء الذي يحمله الهواء.

**شكل (7.3):** غرف تبريد تبخيري للبطاطس من الخارج ومن الدخل.

**جدول (1.3)**: مقارنة بين نظم التبريد التجاري ونظم التبريد الصناعي.

| التبريد التجاري | التبريد الصناعي |
|---|---|
| تستخدم للسعات التبريدية الأقل من 100 طن تبريدي* | أعلى من 100 طن تبريدي |
| R22، 134A ، البروبان وغيرها من وسائط التبريد | الأمونيا أو ثاني أكسيد الكربون |
| المعدات الخاصة بها سابقة التصنيع ومنفصلة أو مثبتة على قاعدة | تصنع خصيصا حسب الموقع والظروف المطلوبة للعملية |
| غالبا ما تستخدم ضواغط مغلقة أو نصف مفتوحة | غالبا ما تستخدم ضواغط مفتوحة أو لولبية |
| تستخدم لمخازن التبريد المطلوب أن تحافظ على درجة حرارة ثابتة (أحمال حرارية منتظمة) | تغطي نظم الحمل الحراري المتغير (عمليات التبريد السريع المختلفة) |
| نظم تحكم محدودة للرطوبة | نظم تحكم مركزية أفضل لكل من درجة الحرارة والرطوبة |
| خطوات التحكم في السعة التبريدية محدودة | يمكن التحكم في السعة من 100 % وحتى 10 % من الحمل التبريدي |
| غير ملائمة لنظم الجو الهوائي المتحكم فيه (Controlled atmosphere) | ملائمة لنظم الجو الهوائي المتحكم فيه ولكافة عمليات التصنيع الغذائي |
| الأنسب لشاحنات النقل المبرد وحاويات النقل البحري | غير ملائمة |

* الطن تبريد يساوي 3.517 كيلو وات.

## التبريد أثناء النقل

لشاحنات الطرق البرية المبردة نظم رجوع هواء علوي ومن ثم تفتقر لمعدلات تدفق هواء تسمح بتبريد المنتج أثناء النقل. لحاويات البحر وسفن الشحن المبردة معدلات تدفق هواء وسعات تبريدية كافية لتحقيق تبريد جيد بدفع الهواء بمعدلات مقبولة. لحاويات البحر المبردة نظم تدفق هواء سفلية، ينتقل الهواء من نظام التبريد إلى قنوات الهواء بالأرضية ثم لأعلى خلال فتحات الصناديق السفلية ثم يعود لنظام التبريد من خلال الحيز الأعلى للمنتج. للتشغيل الجيد يجب أن تتوافق الفتحات السفلية مع الفتحات العلوية وكذلك الفتحات في جوانب الصناديق أو العبوات في حال رصها بطريقة متعامدة. يجب تغطية الجزء من أرضية الشاحنة والتي لا يوجد عليها رصات للمنتج لمنع تسرب الهواء البارد خلالها.

يستخدم التبريد أثناء النقل في مناطق الإنتاج التي لا يوجد بها محطات تبريد (شكل 8.3) غير أن غالبية مقطورات النقل لا تمتلك سعات تبريدية كافية لتبريد المنتج تبريدا سريعا إلا في حال إستخدام كميات ضئيلة من المنتج. تم تطوير بعض وحدات التبريد الحديثة لتلك المقطورات والتي تعمل بالضواغط اللولبية حيث يمكنها تحقيق مدى واسع من درجات الحرارة وتتفادى مشاكل الضواغط الترددية في دوائر تبريد التمدد المباشر. ينتج عن هذا قلة عدد الأجزاء المتحركة بحوالي 80 % مما يطيل العمر التشغيلي لتلك الوحدات ويقلل من الصيانة المطلوبة حيث تعتبر تلك ميزة هامة للوحدات المركبة على شاحنات النقل المبرد. تبلغ السعة التبريدية لتلك الوحدات 17.6 ك.وات عند درجة حرارة خارجية 37 ºم ودرجة تبخير 1 ºم لوسيط التبريد. ربما كانت تلك السعة كافية للحفاظ على درجة حرارة المنتجات التي تم إنجاز عملية التبريد السريع لها لكنها غير كافية لعملية التبريد السريع بحد ذاتها والتي ربما تحتاج لأضعاف تلك السعة التبريدية.

**شكل (8.3):** عربة نقل مبرد.

يمكن توصيف شاحنات للنقل البري المبرد بمواصفات تراعي متطلبات الحفاظ على جودة تلك المنتجات سريعة التلف وعلى بعض الجوانب الأخرى الخاصة بتعليمات الطرق. بعض من تلك المواصفات كما يلي:

1- أن تصل الحمولة لأعلى وزن ممكن دون أن يتعارض الوزن الكلي للشاحنة الممتلئة مع تعليمات المرور.
2- أن تسمح وحدة التبريد بمدى واسع من درجات الحرارة يتراوح من صفر إلى 12 ºم وأن يكون مدى التحكم ضيق ويصل إلى 0.5 ºم.
3- أن تشتمل العربة على رصيف تحميل هيدروليكي.
4- يجب أن تثبت على العربة من الداخل تعليمات وإرشادات التحميل لتفادي نقاط عدم الإتزان وتجعل الحمل منتظما على أرضية الشاحنة.
5- يجب معرفة حدود درجة الحرارة المتاحة والوزن الفارغ للشاحنة.
6- يحبذ أن يكون نظام دفع الهواء من أسفل إلى أعلى (Bottom air delivery system).
7- أن تضمن الشاحنة فتحات ملائمة للتهوية.
8- أن يسمح عرض الشاحنة بسرعة عملية التحميل والتفريغ بالرافعة الشوكية.

## الخلاصة

تتم عملية التبريد للمنتجات سريعة التلف بنفس الآلية بصرف النظر عن طريقة التبريد المتبعة. طريقة التبريد بالتمدد المباشر تعتبر الأكثر إنتشارا للعديد من الأسباب أهمها رخص ثمنها بالمقارنة بنظم التبريد الصناعي وكونها ملائمة للأحجام الصغيرة والمتوسطة كما أنها مناسبة لشاحنات النقل المبرد وحاويات النقل البحري والسوبرماركت. للمبردات المائية مميزات هامة منها إمكانية التحكم العالى في نسبة الرطوبة بالإضافة لبقية المميزات الأخرى التي تنطبق على التبريد الصناعي. التبريد التبخيري أثبت فاعلية في الكثير من أجواء المناطق الصحراوية ولحاصلات مثل الطماطم. يمكن لشاحنات النقل البري أن تكون بديلا جيدا عن غرف التبريد في المناطق التي لا توجد بها مثل تلك المشاريع.

## الفصل الرابع

# نظم التبريد

### الملخص

دائرة التبريد الميكانيكية التي تعمل بالإنضغاط هي الأكثر إستخداما لتبريد الحاصلات البستانيه بالإضافة لمجال النقل المبرد سواء البحري أو البري. توجد عدة خيارات متاحة لزياده فاعلية الأداء لتلك الأنظمة بغرض خفض الفقد في الوزن وللحفاظ على الجودة من خلال عمليات التحكم في الرطوبه النسبيه وسرعة الهواء والحد من التذبذب في درجات الحرارة. تتضمن العناصر الرئيسية لدورة التبريد الضاغط ، المكثف ، المبخر وجهاز التحكم في عملية تغذية وسيط التبريد. لكل عنصر وظيفة رئيسية وأسس في عملية الإختيار وخاصة لتبريد الخضروات والفاكهة. عند إختيار المبخرات يجب مراعاة العديد من العوامل الخاصة المتعلقة بعملية فقد الماء من المنتج مثل المساحة السطحية للمبخر، عدد الصفوف به وعمقه بالإضافة للفارق في درجة الحرارة ما بين الهواء المار عبره ودرجة حرارة وسيط التبريد داخله. الضاغط يعتبر قلب نظام التبريد حيث النوع الترددي واللولبي هم أشهر نوعين تطبيقا. في هذا الفصل سيتم شرح دورة التبريد مع وصف العناصر المختلفة وكيفية الإختيار الأمثل لكل منها.

### مقدمة

توجد العديد من المراحل في نطاق سلسلة التبريد التي تتطلب عملية التخزين المبرد للحاصلات البستانية منها قصير الأمد مثل الأسواق الزراعية حيث يتطلب الأمر عمل توازن ما بين العرض والطلب. بعض المنتجات التي يتطلب الأمر تخزينها لفترة طويلة مثل: التفاح، التمور، البطاطس، والبصل حيث تتميز جميعها بأنها ليست سريعة التلف. أهداف عملية التخزين يمكن إجمالها فيما يلي:

- إبطاء العمليات الحيوية للمنتج من خلال حفظه على أدنى درجة حرارة ممكنه والتي لا تسبب تجمده أو أى أضرار برودة وذلك من خلال التحكم في الأجواء المحيطه.
- إبطاء عملية النمو وخلق بيئة غير ملائمة لإنتشار الكائنات الحية الدقيقة من خلال توفير درجات الحرارة المنخفضة والحد من تراكم الرطوبة على سطح المنتج.
- توفير نسب عالية من الرطوبة لمنع الذبول والإنكماش حيث يتم هذا من خلال خفض الفارق بين درجة حرارة المنتج والهواء المحيط.
- الحد من تعرض المنتج للإصابات المرتبطة بغاز الإيثلين.
- كل ما سبق يؤدي للحفاظ على المنتج أطول فترة ممكنة وبجودة عالية.

تشتمل نظم التخزين على تطبيق معاملات مختلفة لمنتجات مثل البطاطس والبصل حيث يتم حفظهم لفتره قصيرة على درجات حرارة عالية ورطوبة نسبية مرتفعة بغرض تجفيف الجروح التي تحدث للدرنات أثناء عملية الحصاد. العنب أيضا يتم تبخيره بثاني أكسيد الكبريت للحد من العفن الذي يسبب تحلله وكذلك التقليل من الفاقد بفعل تلك الأعفان. الكمثرى والخوخ ربما تسخن وتعرّض لغاز الإيثلين بغرض إنضاجها بمعدلات أسرع وبصورة متجانسة. في التمور يجب التخلص من أى حشرات قبل عملية التخزين حيث يمكن أن يتم هذا بالعديد من الطرق ولبعض الأصناف يجب التخلص من جزء من رطوبتها مثل تمور المجدول. المانجو والقاوون يتم غمسهم في الماء الساخن الذي يحتوي على بعض المواد المطهرة لفترات زمنية محددة لقتل الحشرات أو مسببات الأمراض الفطرية.

## خدمات إضافية

يوجد العديد من الخدمات الإضافية التي يمكن إضافتها لمشاريع مخازن التبريد العمومية للحاصلات البستانيه حيث يجب إعتبار كل منها بعناية وفقا للحاجة لها ولجدواها الإقتصادية. من تلك الخدمات وعلى سبيل المثال:

- ميزان.
- عملية تجميع البالتات للشحنات المختلطة.
- عمليات إعادة التعبئة.
- غسيل الصناديق وتخزينها.
- تعريف البالتات والعبوات المختلفة.
- التبريد السريع.
- فحص الجودة دوريا.
- الجو الهوائي المتحكم فيه أو المعدل.
- شحن عينات ممثلة للحمولة.
- عمليات الإنضاج الصناعي.
- التخزين بالبالتة أو الإيجار بالغرفة.

هذا بالإضافة لتوفير الخدمات المساندة المختلفة مثل غرف المعدات، مولدات الطاقة، مخازن العبوات والصناديق الكرتونية، إعادة تجهيز الكرتون، خدمات الأفراد والمبنى الإداري. في بعض الأماكن يتطلب الأمر عمل آبار للمياه ومحطة للتحلية بالإضافة لنظام للصرف.

## درجة الحرارة

يجب حفظ درجة الحرارة داخل غرف التخزين في حدود ±1°م من الدرجة المرغوب حفظ المنتج عليها لكن في حال كانت درجة الحرارة المطلوبة قرب درجة التجمد مثل ما هو حادث للعنب والفراولة فيجب الحذر من الوصول لدرجة التجمد. يمكن أن تسبب درجة الحرارة الأقل من الدرجة الملائمة لمنتج معين أضرار تجمد أو برودة. وبصفة عامة فإن درجات الحرارة الغير ملائمة لتخزين المنتج تقصر من عمره التسويقي. أيضا التذبذب الكبير في درجات الحرارة بفعل كثرة فتح وغلق الأبواب يؤدي لتكثف الماء على سطح المنتجات المخزنة ويسرع من فقدها للماء بالإضافة لتكون الصقيع على سطح المبخر مما يسبب ضرورة إذابته وما يعقبه من إيقاف نظام التبريد. درجات حرارة التخزين والرطوبة النسبية الموصى بها للتخزين طويل الأمد للحاصلات البستانية موضحة بجدول بملحق (ب). في مشاريع التخزين العمومية وخاصة في أسواق الجملة وأسواق التجزئة عادة ما تحفظ العديد من المنتجات في غرف عامة واحدة ولذا تصنف أو تجمع المنتجات في عدة مجاميع تتوافق من حيث متطلباتها من درجة الحرارة والرطوبة وإنتاجيتها للإيثيلين أو حساسيتها له وذلك للتخزين قصير المدى حيث يوضح ملحق (أ) تلك المجاميع.

إستقرار درجات حرارة غرف التخزين في المدى الموصى به يعتمد على العديد من عوامل التصميم الهامة ومن أهمها السعة التبريدية للنظام والتي يجب أن تقابل أكبر حمل حراري متوقع يمكن أن تملأ به الغرفة في مرة واحدة وعند أعلى درجة حرارة إبتدائية متوقعة. يؤدي خفض السعات التبريدية عن القدر المطلوب إلى رفع درجات حرارة الهواء وزيادة ساعات تشغيل نظام التبريد أثناء فترات ذروة التحميل لكن في المقابل فإن زيادة السعات التبريدية عن الحد المطلوب تشكل عبئا إضافيا للتكاليف الرأسمالية وتكاليف التشغيل وتعد من علامات التصميم السيئة. يجب أن يؤخذ في الأعتبار إحتمالات التوسع اللاحق ويتم ضمان قدرته التبريدية المتوقعة مستقبليا ضمن المعدات القائمة على أن تُفعّل لاحقا.

## الرطوبة

لمنع فقد الرطوبة ولزيادة مستواها داخل حيز التخزين يجب تصميم نظام التبريد بحيث تكون درجة حرارة الهواء المغادر لملفات التبريد أو المبخر أقرب ما تكون لدرجة الحرارة المرغوبة إستبقاء الغرفة عليها. يهدف هذا للحد من التذبذب الكبير في درجات الحرارة وذلك عندما يتأرجح نظام التبريد ما بين العمل والوقوف لأنظمة التمدد المباشر بصورة خاصة والتي تفتقر لطرق التحكم المتقدمة في السعة التبريدية. تركب حساسات لدرجة الحرارة تقوم بإرسال إشارات للنظام في حال إنخفاض درجة الحرارة عن تلك التي صمم النظام عليها. يسمح تكبير المساحة السطحية لملفات التبريد المجهزة بمنظمات لصمامات السحب بثبات الفوارق الضئيلة في درجة الحرارة بين الهواء المغادر لملفات التبريد وهواء الغرفة في حين تظل السعة التبريدية المتاحة مناسبة. هذا الفارق الضئيل في درجة الحرارة والذي يزيد من الرطوبة النسبية في غرفة التخزين يؤدي لتقليل كميات الثلج المتراكم على ملفات التبريد ويزيد الكفاءة نظرا لقلة الزمن اللازم لإزالة الثلج المتراكم والذي عادة ما يضيف حرارة للغرفة. يجب تعليق المبخر بحيث يكون ملاصقا للسقف كلما أمكن ليسمح بتدوير كامل وجيد للهواء. إن وجود فراغ وحيز حر مناسب فوق عبوات المنتج يسمح بخلط الهواء القادم من المبخرات بهواء الغرفة وذلك قبل أن يمس المنتجات المخزنة.

لغالبية الأغذية سريعة التلف فإن الرطوبة النسبية داخل مخازن التبريد طويلة المدى يجب أن تكون في حدود 90-95 %. تنتج المستويات الأقل من هذا فقد وزن غير مقبول. الرطوبة النسبية القريبة من 100 % ربما تسبب نمو للكائنات الحية الدقيقة وتسبب تشققات سطحية على بعض أنواع الفاكهة ومن غير المعتاد أن يكون لمخزن تبريد رطوبة نسبية عالية جدا وذلك لمنع تكثفها. يتم حفظ المنتجات المجففة جزئياً مثل الثوم والبصل الجاف وبعض أصناف التمور الجافة في رطوبة نسبية تتراوح من65-75 % في حين تحفظ الفاكهة المجففة والنُقل على 55 - 56 % رطوبة نسبية.

صناديق أو عبوات الكرتون تضعف وتنهار بطول فترة تعرضها للرطوبة العالية الموصى بها لغالبية المحاصيل البستانية حيث أن تلك الكراتين تفقد حوالي 50 % من قوتها عند التخزين في 95 % رطوبة نسبية مقارنة بـ 50 % رطوبة نسبية. يمكن خفض الرطوبة النسبية لمخازن تبريد الأغذية سريعة التلف لأدنى من المستويات الموصى بها إذا ما تم تعبئة المنتج في أكياس بلاستيكية أو تبطين الصناديق بمواد ملائمة لمنع فقد الرطوبة.

في الأنظمة غير المصممة للحاصلات البستانية فإن ملفات المبخر (والتي تنتج الهواء البارد) تعمل عند درجة حرارة حوالي 6 °م أدنى من الدرجة المرغوبة للهواء في الغرفة. يسبب هذا الفارق تكثف زائد للرطوبة على ملفات المبخر ليخفض الرطوبة داخل الغرف لتكون 70-80 %. المبخرات أو ملفات التبريد ذات المساحة السطحية الكبيرة ونظم التحكم الجيدة للمحافظة على أدنى فرق درجة حرارة ما بين المبخر والهواء المار على المنتج تحقق نفس السعات التبريدية مثل المبخرات الصغيرة غير أنها تعمل على درجات حرارة أعلى لخفض كمية الرطوبة المزالة من الهواء ولذا يجب أن يكون المبخر كبيراً بدرجة كافية ليعمل على 3 °م أبرد من درجة حرارة هواء الغرفة.

يستخدم الترطيب الميكانيكي من خلال الرذاذ الضبابي في بعض الأحيان لإضافة الرطوبة لغرف التخزين وللحد من التأثير التجفيفي لملفات المبخر غير أن تلك الطريقة تتطلب إذابة متعددة للمبخرات. في حال عدم الإختيار الجيد لتلك المرطبات من حيث السعة وفي حال تركيبها في المكان الغير مناسب فيمكن أن تكون سببا في الكثير من المشاكل. أيضا في حال عدم إزالة الأملاح من الماء المغذى لها فإن فوهات المرذذات تنغلق بفعل الأملاح المتراكمة عليها، لهذا السبب يجب تحلية الماء المغذي لها وصيانتها بصورة مستمرة وتوفير قطع الغيار اللازمة لها. تستخدم المرطبات الميكانيكية في الظروف التي يتم فيها تخزين المنتجات في درجات حرارة أعلى من درجات الجو الخارجي، مثال على ذلك الأماكن الشتوية الباردة والتي يجب إضافة الحرارة لها لمنع الإصابة بأضرار البرودة.

بعض نظم التبريد تستخدم ملفات مبادلات حرارية مبتلة للحفاظ على النسب المطلوبة للرطوبة النسبية. في تلك الأنظمة يتم تبريد الماء إلى صفر°م أو أعلى ويتم ترذيذ الماء لأسفل خلال الملف ومن ثم تبريد هواء الغرفة وتشبيعه بالرطوبة لحوالي 100 % وذلك لحظة خروج الهواء من ملف التبريد، غير أن الهواء يتحرك بإمتداد غرفة التبريد ويلتقط حرارة المنتج وتنخفض رطوبته النسبية. يستخدم هذا النظام على نطاق محدود لدرجات حرارة هواء أعلى من 2 °م ولا يعمل جيداً لكل المنتجات التي يتم أو يرغب في حفظها عند أو أقل من الصفر المئوي بدون استخدام العناصر التي تخفض من درجة تجمد الماء (مثل الجليكول).

**شكل (1.4)**: ترطيب أرضية المخازن المبردة لرفع رطوبتها.

في بعض الدول يتم رش أرضية المخازن بالماء لترطيبها حيث تتبخر تلك المياه بمرور الوقت ويمكن أن تساهم في زيادة بسيطة جدا لرطوبة الغرفة . يوضح شكل (1.4) غرف مبردة لتخزين العنب مبللة الأرضية.

الرطوبة المنخفضة للمحاصيل الدرنية، التمور أوالثمار المجففة جزئياً ، الفاكهة المجففة والنُقل عادة ما يتم الحصول عليها من خلال ملفات تبخير خاصة. في الجزء الأول من الملف يكون الهواء وبصورة كبيرة أقل من درجة الحرارة المرغوبة للغرفة وذلك لتجفيف الهواء، يقوم حينئذ الجزء الخاص بإعادة التسخين في المبخر بتسخين الهواء للدرجة المطلوبة، طاقة التسخين تزُود من خلال سخانات كهربائية أوغاز وسيط التبريد الساخن والراجع من ضاغط التبريد عن طريق مواسير الطرد. عادة ما تركب تلك الأنظمة لمخازن البصل وتقاوي البطاطس حيث تتطلب زراعتها رفع درجة حرارتها تدريجيا قبل الزراعة.

## عمليات تدوير الهواء

**شكل (2.4)**: مغير سرعة مركب في نظام تبريد سريع بالتمدد المباشر.

عمليات التدوير الجيد للهواء تقلل من تذبذب درجة الحرارة داخل مخازن التبريد. غالبية مخازن التبريد تصمم لتوفير معدلات تدفق هواء بقيمة 0.052 م$^3$/ثانية/ طن متري من المنتج وذلك على أساس الكمية القصوى الممكن تخزينها في الحيز المبرد. يُعد هذا مطلوباً لتبريد المنتج لدرجة حرارة التخزين وربما يكون أيضاً مطلوباً إذا ما كان للمنتج معدلات تنفس عالية، ولأن هذا التدفق العالي من الهواء قد يسبب فقد زائد من وزن المنتج خاصة لتلك الكميات القريبة من المبخر. لأن المراوح مصدر حرارة رئيسي، فإن النظام يجب أن يصمم بحيث يتم خفض تدفق الهواء إلى 0.208 - 0.0104 م$^3$/ثانية وذلك لكل طن متري من المنتج بعد أن يصل المنتج لدرجة حرارة التخزين المرغوبة. غالباً ما تستخدم للتحكم في سرعة المراوح مُغيرات التردد لمحركات التيار المتغير AC. تشغيل المراوح عند أقل سرعة تمنع الإرتفاع غير المقبول في درجة حرارة المنتج في مخازن التبريد. المنتج الأعلى في درجة الحرارة عادة ما يكون قريب من أعلى الغرفة ومجاور للحائط الساخن أو السقف وبعيد من مراوح المبخر. يتم التحكم في مُغيرات السرعة عن طريق درجة الحرارة والتي يتم ضبطها بشكل مسبق ووفقا لنوع المنتج، كميته، نوع التعبئة وفتحات التهوية، أبعاد الغرفة، وموسم التشغيل والكثير من العوامل الأخرى. يتم هذا لكل من مراوح المبخرات في مخازن التبريد، مراوح نظم التبريد السريع، أو مراوح المكثفات في نظم التبريد الصناعي. تعمل أيضا تلك الأجهزة على توفير الطاقة بصورة إقتصادية. يوضح شكل (2.4) مغير سرعة

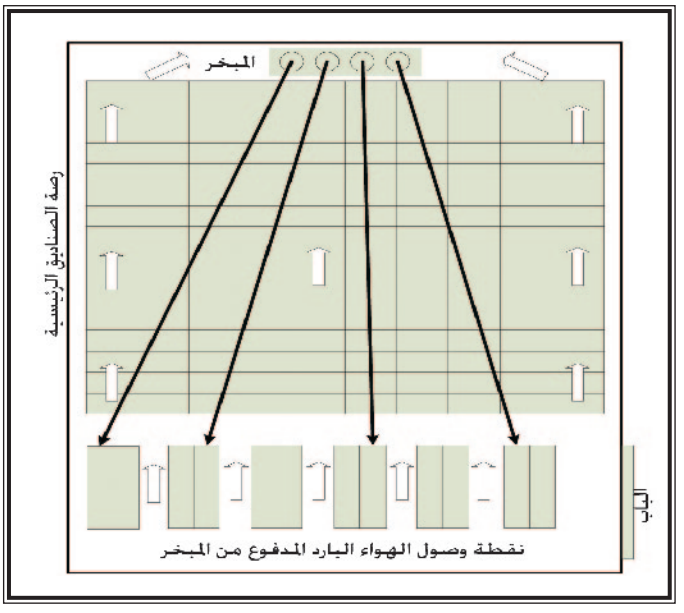
مركب على مروحة لنظام التبريد السريع بالتمدد المباشر للخضروات والفاكهة لمشروع تحت الإنشاء في أحد الدول العربية.

توجد العديد من الأسئلة التي يجب أن يتم إيضاحها بصورة جيدة قبل إتخاذ أى قرار بشأن تركيب مغيرات السرعة لنظام التبريد ومنها على سبيل المثال:

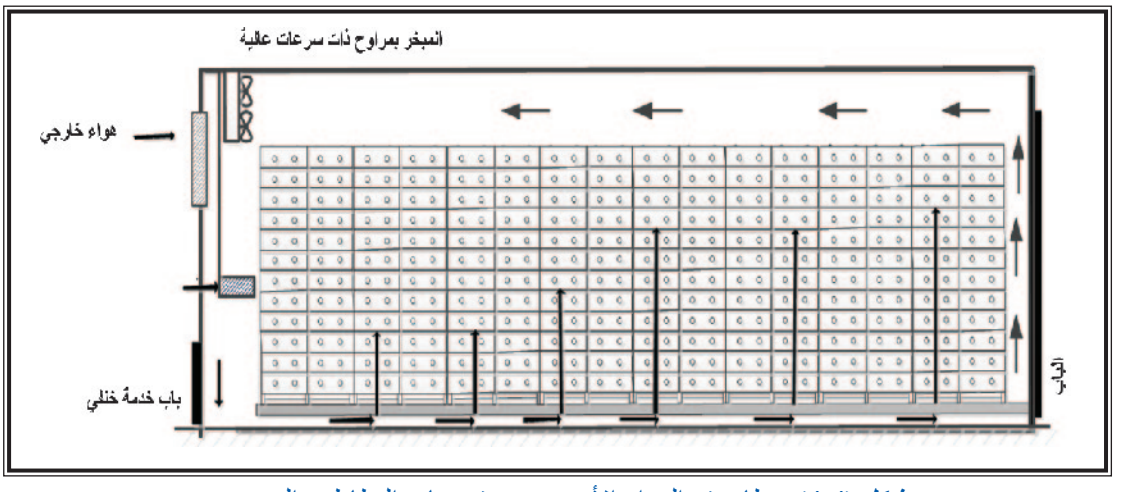
1- هل تعمل غرف التبريد أكثر من ستة أشهر في العام؟
2- هل يتم الوصول لدرجة الحرارة المرغوبة طوال الوقت؟
3- هل سعر الطاقة ثابت أم تدعم السلطات المحلية تركيب تلك النوعية من الأجهزة؟
4- هل قدرة المحركات في حدود 1 إلى 5 حصان؟
5- ما نوع نظام التبريد؟
6- هل تعمل المرواح بصورة دائمة أم فقط عند إذابة الثلج؟
7- هل المنتجات المخزنة حساسة لفقد الرطوبة؟
8- هل تتوافق عبوات المنتج بفتحاتها مع نظام سريان الهواء؟

## عمليات التهوية

تحدث عملية تجديد الهواء داخل مخازن التبريد بصورة طبيعية نتيجة عمليات فتح وغلق الأبواب بصورة مستمرة وبفعل إختراق الهواء الخارجي وتسربه لداخل حيز التبريد حيث أن مخازن الخضروات والفاكهة ليست بطبيعتها محكمة العزل لكن ولبعض المنتجات مثل البطاطس لا تكفي عملية التهوية تلك للتخلص من ثانى أكسيد الكربون المتراكم والذي في حال لم يتم التخلص منه بصورة دورية تكون له آثار جانبية غير مرغوبة. بناء على ما سبق يجب تصميم النظام بحيث يسمح بتدوير الهواء بصورة متجانسة فوق جميع عبوات المنتج ولإزاحة الهواء ذو نسبة ثاني أكسيد الكربون العالية للخارج. يوضح شكل (3.4) أحد نظم دفع الهواء المستخدم للتوزيع المتجانس للهواء في مخازن تبريد البطاطس في حين يوضح شكل (4.4) نظم دفع الهواء الأرضي لنفس المنتج والمنتشر على نطاق واسع في عدد من الدول العربية.




**شكل (3.4)**: الفجوات ما بين رصة الصناديق الأخيرة تسمح بعودة الهواء ليتخلل الرصة الرئيسية للصناديق.




**شكل (4.4)**: نظام دفع الهواء الأرضي بمستودعات البطاطس المبردة.

يجب أن يكون هناك أيضاً فراغ بين بالتات المنتج والحائط ليسمح للهواء البارد بإمتصاص الحرارة المنتقلة من الخارج عبر الحائط. يوضح شكل (6.4) قنوات الهواء الجانبية ما بين بالتات الخضروات والفاكهة بهدف ضمان تدوير هواء الغرفة بصورة جيدة. عادة ما يتم بناء جدار واقي بسمك 10 سم وإرتفاع 30 سم بكامل الجدار الداخلي لغرفة التبريد بغرض حماية الحوائط من الأحتكاك بالرافعة الشوكية وتسمى الركبة وتضمن حفظ مسافة بين الحائط ووحدات المنتج المخزنة وكما هو موضح بشكل (7.4). في عمليات الإنضاج الصناعي لبعض المنتجات يجب ترك مسافات بين عبوات المنتج لضمان توزيع غاز الإثيلين بصورة منتظمة مثل ما هو موضح بشكل (8.4).

ولأن الهواء يسري خلال الممرات الأقل مقاومة، فإن الغرفة الممتلئة والتي تضيق فيها المسافات بين عبوات المنتج غالباً ما يكون لها توزيع سيء للهواء حيث يفضل في تلك الأحوال تقسيم الغرف الكبيرة لأجزاء باستخدام حوائط غير معزولة موازية لإتجاه مرور الهواء. يسمح هذا للمنتج على أحد الجوانب بأن يزال دونما أن يؤثر على المنتجات المخزنة في الجزء المجاور.

## التبريد

السعة التبريدية هي الأساس لإختيار نظام التبريد حيث سيتم شرح كيفية تقدير تلك السعة في فصل لاحق والتي تعتمد على تجميع مدخلات الحرارة للحيز المبرد بما فيها الحرارة المنتقلة بالتوصيل من خلال الجدران، الأرضية، السقف، الحقل، حرارة التنفس من المنتج، الحرارة المتسربة من خلال فتح الأبواب، حرارة الأشخاص المشغلين، الحرارة الصادرة من وسائل الإضاءة، المحركات، الروافع الشوكية، والمراوح. بصفة عامة فإن المخازن المبردة لا يكون الغرض من تصميمها إزالة الكثير من حرارة الحقل من المنتج حيث أن هذا يتطلب عملية منفصلة هي عملية التبريد السريع والتي يكون لنظام تبريدها سعات كبيرة وتعمل خصيصاً لهذا الغرض.

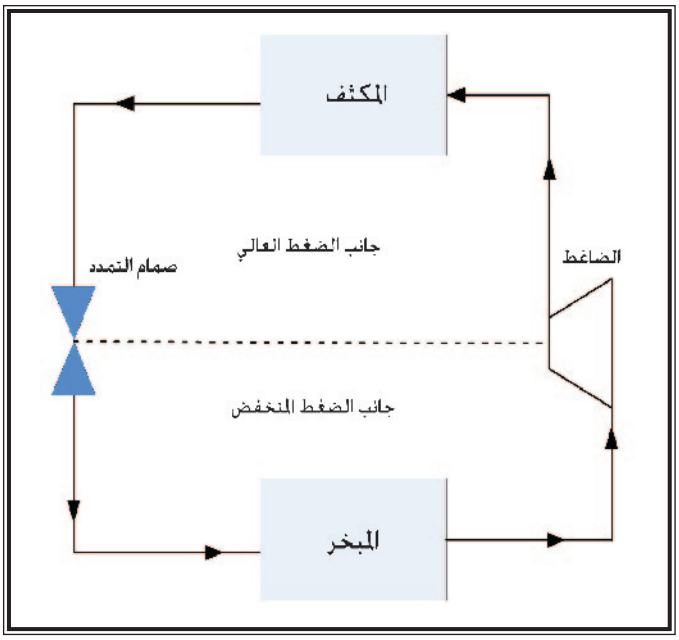
غالبية محطات التبريد تستخدم نظم التبريد الميكانيكية للتحكم في درجة حرارة غرف التبريد، تلك النظم تستخدم خاصية إمتصاص السوائل للحرارة أثناء تحولها إلى الحالة الغازية والعكس أثناء عملية التكثف حيث تطرد حرارتها للخارج. نظام التبريد الميكانيكي الأكثر شيوعاً يستخدم وسائط تبريد مثل النشادر ومجموعة مختلفة من الهيدروكربونات والتي تسمى تجاريا بالفريون والتي يمكن بسهولة استعادة أبخرتها من خلال ضواغط ومبادلات حرارية.

**شكل (5.4)**: درنات البطاطس المزرّعة بفعل أجواء التخزين غير الملائمة.

**شكل (6.4):** الفجوات بين بالتات المنتج لغرض تدوير الهواء بمخازن التبريد

**شكل (7.4):** الفجوات ما بين الجدار وعبوات المنتج بفعل الركبة الحامية لجدران المخازن.

**شكل (8.4):** المسافات البينية بين عبوات الموز أثناء إنضاجها صناعيا بالإيثيلين.




**شكل (9.4)**: نموذج لدورة التبريد الميكانيكية بعناصرها المختلفة.

شكل (9.4) يوضح نموذج لدورة التبريد الميكانيكية بالأنضغاط حيث يمر سائل وسيط مضغوط خلال صمام تمدد فينخفض الضغط ويتحول من الحالة السائلة إلي الحالة البخارية عند درجة حرارة منخفضة بدرجة كافية لأن تكون فعالة في إزالة الحرارة من غرفة التخزين والذي يكون في حالة شرهة لإمتصاص الحرارة من الوسط المحيط. بذلك تنتقل الحرارة من المواد المراد تبريدها إلى هواء الغرفة والذي يجبر حينئذ على المرور خلال المبخر (ملف التبريد الموضوع داخل الغرفة). المبخر عبارة عن مبادل حراري أنبوبي وبزعانف أو ريش تساعد في نقل الحرارة من الهواء إلى وسيط التبريد داخل المبخر مسببة تحوله كما سبق من الحالة السائلة إلي الحالة البخارية. بعد تحول وسيط التبريد بالكامل للحالة الغازية أو ما يسمى البخار المحمص يعاد ضغطه من خلال الضاغط لتسهيل عملية تكثيفه إما باستخدام الهواء المحيط أو باستخدام الماء ومن ثم يتحول للحالة السائلة. يقع المكثف خارج غرفة التبريد حيث تنطلق منه الحرارة للهواء الخارجي. يتم تخزين سائل وسيط التبريد المتكثف في خزانات مصممة لتلائم الضغط العالي لوسيط التبريد ليتم تغذيته لبقية النظام وفقاً لحاجة التبريد.

## نظم تغذية نظام التبريد

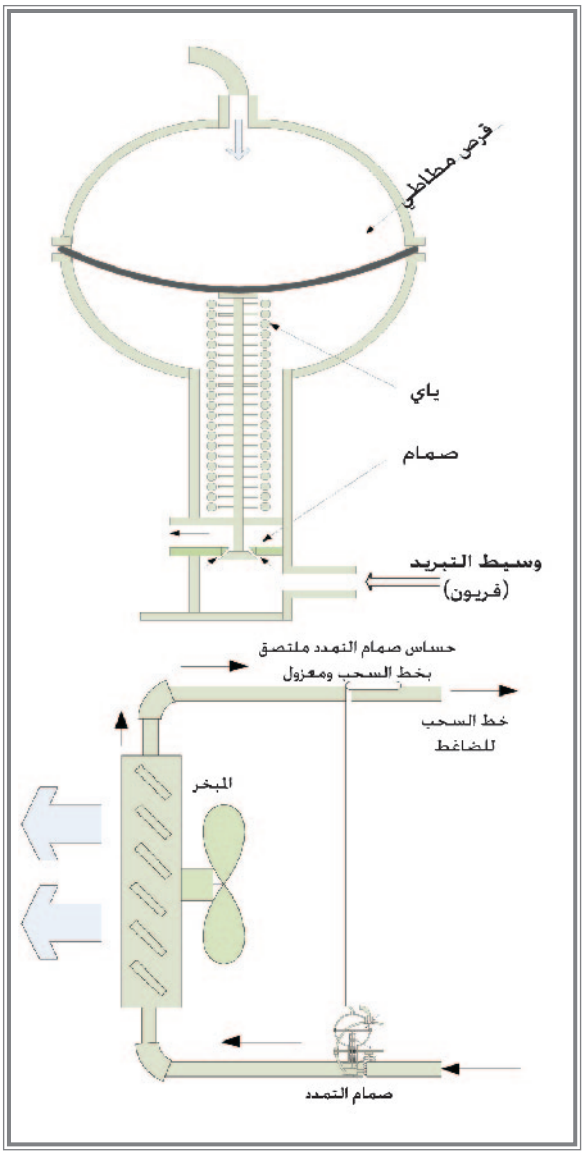
يتم التحكم في نظم التبريد الميكانيكي (طرق التمدد المباشر) والتي تكون في مدى سعة تبريدية أقل من 350 ك.وات من خلال صمامات التمدد كطريقة رئيسية لتغذية المبخر وتنظيم ضغط وسيط التبريد داخله ومعايرة الكمية الملائمة والمطلوبة لإحداث الأثر التبريدي وفقا للسعة التبريدية المتاحة. بمعنى آخر فإن الوظيفة الرئيسية لصمام التمدد هي تنظيم معدل سريان وسيط التبريد بهدف الحفاظ على فرق ثابت في درجة الحرارة بين مدخل المبخر (أو درجة حرارة التبخير) ومخرج الملف وبالتالي يحافظ على درجة تحميص البخار ثابتة (البخار المحمص هو الذي تزيد درجة حرارته عن 100°م). يوضح شكل (10.4) تفاصيل عمل صمام التمدد حيث تعتبر درجة حرارة البخار الخارج هي الإشارة الأهم والتي بناء عليها يتم تمدد وسيط الفريون بداخل حساس معزول وملتصق بخط السحب باتجاه الضاغط ليقوم بفتح القرص المطاطي سامحا بدخول كمية من وسيط التبريد. في حال كانت درجة حرارة البخار الخارج من المبخر تفيد بأنها في حدود المطلوب يقوم القرص المطاطي بالتقلص رافعا الضغط علي الياي ليقوم الصمام بغلق الفتحة ومن ثم لا يمر وسيط التبريد للمبخر. يتم فتح الصمام لفترة محددة تناسب الحمل الحراري المطلوب إزالتة.

يسمح صمام التمدد لجانب الضغط المنخفض لأن يكون متغيراً ولذا وفي الأحوال التي تتطلب أحمال تبريدية عالية فإن درجة حرارة ملف المبخر تزيد. هذا النوع من صمامات التمدد لا يناسب متطلبات الرطوبة النسبية العالية في التخزين طويل المدى وأيضا لا تناسب عمليات التبريد السريع لطبيعة تغير الأحمال التبريدية بها.

تصنف نظم التبريد المركزي بالأمونيا وفقا لطريقة تغذية سائل وسيط التبريد لمبخرات النظام وكذلك وفقا لطريقة تبريد زيت الضواغط. يتوقف الإختيار الأنسب على العديد من العوامل ومنها:

1- نوع المنتجات وطبيعة عملية التخزين.
2- مدى التحكم المطلوب في درجة الحرارة والرطوبة.
3- أقصى عمر تسويقي مرغوب الوصول له.
4- هل مشروع التبريد إمتداد لمشروع قائم أو مشروع جديد؟
5- مدى الأمان والمرونة المطلوب توفره في المشروع.
6- موقع غرف المعدات المتاحة وأبعادها وطريقة بنائها.
7- نوع المبخرات وأحجامها.
8- التكلفة الرأسمالية للمشروع.
9- كفاءة النظام ككل وتكاليف التشغيل.

نظام التغذية الأشهر لنظم التبريد الكبيرة والتي تعمل بالنشادر تكون بالمبخرات المغمورة حيث يصمم المبخر ليكون مغمور بسائل وسط التبريد دائما وذلك من خلال خزان مغذي وتتم عملية التغذية إما بطلمبة أو بفارق الضغط. الملف المغمور له كفاءة إنتقال حراري كبيرة بالمقارنة مع الملفات غير المغمورة من نفس الحجم. يتحكم مبدئياً في سريان وسيط التبريد من خلال عوامة تحكُم والتي تتضمن ثبات مستوى وسيط التبريد داخل الملف، وربما تعمل عوامة التحكم بالتوازي مع صمام التمدد الحراري. ربما تستخدم نظم التحكم الأخرى مثل صمامات ضغط السحب في نفس الوقت مع عوامة التحكم حيث أنها مفيدة بصورة خاصة للحفاظ على أعلى درجة تبخير ممكنة بهدف الحفاظ على رطوبة نسبية عالية في غرفة التخزين.




**شكل (10.4)**: تفاصيل عمل صمام التمدد.

## المبخرات

عادة ما تستخدم مخازن التبريد الحديثة مبخرات أنبوبية (شكل 11.4) مزودة بالزعانف أو الريش حيث يجبر هواء مخازن التبريد على المرور فوق الأنابيب وذلك من خلال المراوح والتي تعتبر جزء من وحدة المبخر الكامل. المبخرات التي تعمل في درجات حرارة أقل من صفر°م يتراكم عليها الثلج والذي يجب إزالته بصورة دورية أو وفقا لحساسات تستشعر بوجود الثلج حتى سمك معين وفي حال تجاوزه يتم بدئ عملية التذويب تلقائيا وذلك للحفاظ على كفاءة سطح إنتقال الحرارة. تذويب الثلج يتم من خلال السخانات الكهربائية أو من خلال توجيه بخار وسيط التبريد الراجع من الضاغط (وقبل تكثفه) إلى المبخر. أيضا يمكن أن تتم عملية التذويب من خلال الماء الساخن خاصة للأنظمة التي تعمل بثاني أكسيد الكربون كوسيط تبريد. تصنع أنابيب وزعانف المبخر من الفولاذ المقاوم للصدأ في حالات معينة والتي تطلب الحفاظ على إجراءات صحية عالية حيث تقل فرص تراكم وتكاثر البكتيريا. توجد أيضا مبخرات مجهزة بوسائل تعقيم بالأشعة فوق البنفسجية لنفس الغرض.

عادة ما يتم تعليق المبخرات بحيث تكون ملاصقة لسقف الغرفة مع وجود صواني معزولة بميول لتجميع المياه بقاع المبخر ليتم تصريفها في مواسير لخارج الغرفة أو يتم الإستفادة منها بطرق متعددة مثل دفعها للمكثف التبخيري. في حال نظم التبريد السريع عادة ما تكون المراوح منفصلة عن المبخر وتكون مواجهة لنفق التبريد. أيضا تكون تلك المبخرات بدائرتين منفصلتين بغرض التحكم في السعة بحث يتم تشغيل دائرة واحدة في حال إنخفاض السعة التبريدية بنهاية دورة التبريد السريع وذلك لتفادي إنخفاض الرطوبة بفعل زيادة الفارق في درجة الحرارة ما بين الهواء الخارج من المبخر وبين وسيط التبريد داخل المبخر.

من العوامل الهامة المحددة لإختيار المبخر الملائم هو المساحة السطحية حيث يمكن زيادتها بطريقتين الأولى من خلال زيادة الزعانف والتي عادة ما تكون رقيقة وخفيفة الوزن لكنها تضيق بمسارات الهواء داخل المبخر ومن ثم تكون عرضة للإنسداد بفعل الأتربة علاوة على إحتمالات تكون الثلج أو الصقيع عليها بصورة مستمرة. الطريقة الثانية وهي الأغلى ثمنا تتم من خلال زيادة مسارات وسيط التبريد داخل المبخر عن طريق الأنابيب مع الحفاظ على مسافات معقولة فيما بينها للسماح بتدفق الهواء داخل المبخر بدون عوائق. للمقارنة بين المبخرات المتماثلة في السعة التبريدية، معدل التدفق، والمساحة السطحية يكون وزن المبخر في الحالة الثانية أكبر.

**شكل (11.4)**: مبخرات مخازن التبريد.

## الضواغط

وظيفة الضاغط هي رفع ضغط وسيط التبريد (البخار المحمص الخارج من المبخر) من الضغط المنخفض (ضغط السحب) إلي الضغط العالي بهدف تكثيفه. التكلفة الأعلى في نظام التبريد تكون للضاغط والذي يعتبر قلب النظام والنوعان الأكثر شيوعاً من ضواغط التبريد هو النوع الترددي (المكبس) والنوع اللولبي الدوار. للضواغط الترددية مدى واسع من حيث الحجم ويمكن ضبطها لتعمل بكفاءة عند معدلات سريان مختلفة لوسيط تبريد. تتباين معدلات السريان بغرض التحكم في السعة من خلال تعطيل أو قفل إسطوانتين في وحدة التبريد والتي ربما تتكون من 6 إلى 12 إسطوانة. تعتبر الضواغط الترددية هي الأكثر شيوعا مع نظم التبريد التجارية وشاحنات البحر بالإضافة لعربات النقل المبردة وثلاجات العرض ونظم التبريد بالأسواق. تمتاز الضواغط الترددية بتغطيتها وبكفاءة لمدى واسع من معدلات سريان وسط التبريد. يوضح شكل (12.4) نموذج لوحدة تكثيف تشتمل على الضواغط الترددية.

**شكل (12.4)**: وحدات تكثيف تعمل بضواغط ترددية.

العيب الرئيسي للضواغط الترددية هو أن تكاليف صيانتها عالية وعمرها الإفتراضي قصير. يعيبها أيضا الاستهلاك العالي للطاقة خاصة في حالة السعات العالية وذلك لكون أنظمتها تعتمد في إذابة الثلج على السخانات الكهربائية المزود بها كل مبخر ومن ثم يشكل إجمالي الطاقة الحرارية المطلوبة لإذابة الثلج جزء يومي هام من الطاقة المستهلكه وهي تعد طاقة غير مصروفة لسحب حرارة المنتج بل تعمل على زيادة الحمل الحراري للغرف أثناء إيقافها.

في حال عدم إمكانية الوفاء بكامل السعة التبريدية لنظام التبريد بعدد ملائم من الضواغط الترددية حيث أن كثرتها تزيد من التكلفة الإقتصادية للمشروع، يتم عادة إستخدام الضواغط اللولبية الدوارة والتي يمكن لضاغط واحد منها أن يوفر 4000 ك. وات سعة تبريدية ومن ثم تكون التكلفة الإقتصادية لإستخدام تلك الضواغط أفضل. من المتعارف عليه أنه في حال زادت السعة التبريدية عن 350 ك.وات فإن استخدام الضواغط الترددية يكون غير مجدي.

تستخدم الضواغط اللولبية النشادر أو R22 وغيرها من وسائط التبريد غير أن إتفاقية مونتريال (1990م) قد فرضت الكثير من القيود على وسيط تبريد R22 ولم يعد ينتج على نطاق تجاري وحُرِّم استخدامه منذ عام 2010م في غالبية الدول ومن ثم ستكون هناك صعوبات لإستخدامه مستقبلاً ولذا فإن غالبية محطات التبريد ذات السعات الكبيرة بدأت تستخدم الأمونيا من جديد لما لها من مميزات كونها لا تضر بطبقة الأوزون، ولا تؤثر كثيرا في التسخين البيئي العالمي غير أنها يمكن أن تضر الحاصلات البستانية ولذا لابد من استخدام أجهزة تحكم.

تكاليف صيانة الضواغط اللولبية الدوارة منخفضة لكنها غير متاحة بأحجام صغيرة. تشتمل عمليات الصيانة الدورية على إختبار الزيوت وتغيرها، التأكد من خلو دائرة التبريد من الماء والهواء، والتأكد من خلو المعدات من أى إهتزازات غير آمنه. عادة ما يطول العمر الأفتراضى لتلك المعدات بالصيانة الجيدة لما يزيد عن ثلاثون عاما أو مائة ألف ساعة تشغيل.

**شكل (13.4)**: نظم التبريد باستخدام الضواغط اللولبية الدوارة.

لرفع كفاءة النظام يجب الحفاظ على أكبر ضغط سحب يُخفض من الطاقة المستهلكه من قبل الضاغط لذا يفضل استخدام ملفات التبخير الكبيرة ونظم التحكم التي تزيد من ضغط السحب وفقاً لإحتياج نظام التبريد. يفضل أيضا استخدام نظام الضواغط الذي يعمل بكفاءة خلال المدى المطلوب لسريان وسيط التبريد مع ملاحظة أن الضواغط اللولبية تعمل بكفاءة فقط عند معدلات سريان قريبة من سعتها الكلية. يوضح شكل (13.4) نظام الضواغط اللولبية حيث تشتمل الوحدات على كافة عناصر ومعدات التشغيل اللازمة مثل الموتور الكهربائي، نظام التزييت، ونظام التحكم.

**المكثفات**

وظيفة المكثف في دورة التبريد الإنضغاطية هو إستقبال الغاز الساخن عالي الضغط والخارج من الضاغط وتبريده لإزالة حرارة التحميص أولا ثم الحرارة الكامنه بحيث يتكثف المائع مرة أخرى إلي سائل بالإضافة لحدوث بعض التبريد الإضافي. تصنف المكثفات إما تبريد هواء، ماء، أو تبخيرية والتي تجمع ما بين تبريد الماء وتبريد الهواء، هذه المكثفات عادة ما تتكون من مواسير توضع في الهواء الساكن وتعتمد إما على تيارات الحمل الطبيعي حيث عادة ما تستخدم النظم الصغيرة والتي تعمل بالضواغط الترددية مكثفات تبريد من هذا النوع مثل ما هو حادث في الكثير من الثلاجات المنزلية والتي لها ملفات تكثيف في الخلف تسمح لتيارات الهواء الطبيعي لأن تمر فوقها وتسحب الحرارة من بخار وسيط التبريد لتحوله للحالة السائلة. لهذا السبب يجب وضع المكثف في مكان جيد التهوية وبعيد عن أشعة الشمس أو الأماكن الساخنة بقدر الإمكان ليساعد في طرد الحرارة منه. أما مع المكثفات الكبيرة فعادة ما يتم استخدام مراوح إضافية كما هو موضح بشكل (14.4).

في نظم التبريد الصناعي ذات السعات الكبيرة والتي تستخدم النشادر ولطبيعة درجة حرارة وسيط التبريد العالية تستخدم مكثفات التبريد بالماء أو بالنظام التبخيري حيث أنها تُخفض الطاقة المستهلكة نظرا لكونها تبرد وسيط التبريد لأدنى درجة حرارة ممكنة. مثال على ذلك محطة تبريد تحافظ على درجة الصفر المئوي ودرجة تكثيف 52°م تتطلب 50 % طاقة أعلى بالمقارنة مع أخرى تعمل على درجة تكثيف 35°م . في المناطق الحارة يجب إختيار مكثفات جيدة التبريد بالماء وليس وحدات التكثيف ذات تبريد الهواء حيث أن الماء موصل أفضل للحرارة مقارنة بالهواء وهذا يسمح لمكثفات تبريد الماء أن تكون أصغر حجماً بالمقارنة مع مكثفات تبريد الهواء من نفس الحجم. العقبة الكبرى لاستخدام مكثفات تبريد الماء والمكثفات التبخيرية هو ما تتطلبه من كميات كبيرة من الماء والتي ربما تكون غالية الثمن سواء للحصول عليها أو للتخلص منها. المكثفات التبخيرية (شكل 15.4) تقلل من إستهلاك المياه من خلال تدوير مياه المكثف الساخنة، غير أنها تتطلب مراقبة دقيقة لجودة الماء للحفاظ على الكفاءة ولمنع إى أضرار للمبادل الحراري بفعل تكثف الأملاح.

**شكل (شكل (14.4)**: مكثف هواء بأحد مشاريع تبريد للخضروات والفاكهة.

حديثا وبتقنيات متقدمة ونظم تحكم عالية أمكن وفي مناطق متعددة من العالم إستخدام مكثفات التبريد بالهواء مع نظم التبريد كبيرة السعة والتي تعمل بالأمونيا وذلك وفقا للأجواء المناخية المتاحة بمنطقة معينة.

**شكل (15.4)**: مكثف تبخيري بأحد مشاريع تبريد للخضروات والفاكهة.

## وسائط التبريد

تنقسم وسائط التبريد لنوعين: أولية وثانوية. تمتاز الوسائط الأولية بأن حالتها تتغير عند إكتساب أو فقد حرارة بعكس الثانية. تختلف الخواص الحرارية لوسائط التبريد الأولية من حيث درجة الغليان، الضغط، السعة الحرارية، الطاقة الكامنه، ،والحجم النوعي. الضغط من العوامل الهامة خاصة لوسائط التبريد التي تعمل عند ضغوط عالية والتي تحتاج لشبكة أنابيب تحتمل تلك الضغوط وغالبا ما تكون غالية الثمن مثل نظام ثاني أكسيد الكربون. يضاف للخصائص السابقة الخواص الطبيعية مثل اللون، الرائحة، والقابلية للأشتعال. الأمونيا شديدة النفاذية في حال حدوث أى تسريب وتعتبر تلك ميزة هامة حيث تعطي إنذار ذاتي مبكر للقائمين على التشغيل تمهيدا لإتخاذ الأحتياطات المناسبة. من الخصائص الهامة أيضا هي السمية والقابلية للذوبان في الزيت حيث لا تذوب ولا تختلط الأمونيا بالزيت بعكس الفريونات.

من وسائط التبريد الأولية توجد أنواع طبيعية صديقة للبيئة مثل الأمونيا وثاني أكسيد الكربون أما بقية الأنواع فهي الهيدروكربونية والتي تتكون من الكربون، الفلور، الكلور والهيدروجين. إختيار وسيط التبريد المستخدم في دوائر التبريد الإنضغاطية يتوقف على العوامل الآتية:

- **تكلفة وسط التبريد**: وسائط التبريد الهيدروكربونية باهظة الثمن مقارنة بالأمونيا خاصة للأنظمة الكبيرة التي تتطلب شحنة كبيرة والتي عادة ما يتم تعويضها سنويا.
- **الأشتراطات والقوانين البيئية:** تحد وتنظم إستخدام وسائط التبريد الهيدروكربونية.
- **التوافق:** لا يمكن إستخدام الأمونيا مع المعادن التي تحتوي على النحاس والهيدروكربونات ولا يمكن أن تستخدم معها سبائك تحتوي على أكثر من 2 % ماغنيسوم وربما تدمر بعض المواد المطاطية.

بعض مخازن التبريد تُبرد من خلال وسائط تبريد ثانوية. في هذا النظام يتم تبريد المحلول الملحي (كلوريد الصوديوم أو كلوريد الكالسيوم) أو الجليكول (جليكول البروبولين أو الإيثلين) من خلال دورة التبريد الميكانيكية، ومن ثم يضخ لمبادلات حرارية في غرف التخزين. تلك الأنظمة تكون أقل كفاءة بنسبة بسيطة من النظم التقليدية بالإضافة إلى أن المحاليل الملحية تسبب التآكل. غير أن لتلك النظم ميزات كثيرة منها خفض شحنة وسيط التبريد الأولي بصورة كبيرة وتُقصرها فقط على غرفة المحركات. تعتبر تلك الميزة هامة جداً في التعامل مع قضيتا القابلية للأشتعال والتشغيل الآمن للأمونيا. أيضا نظم المواسير الخاصة بوسائط التبريد الثانوي لا تتطلب تحمل ضغوط كبيرة مثل تلك المطلوبة للفريونات ويمكن استخدام مواسير البلاستيك في بعض الأحيان. في تلك الأنظمة يمكن التحكم بدقة في درجة حرارة المبادلات الحرارية من خلال صمامات الخلط. تصنف وسائط التبريد تلك (كلوريد الصوديوم وجليكول البروبولين) على أنها أصناف غذائية (Food – grade) أي في حال وجود أى تسريب فليس ثمة ضرر للمنتج أو الإنسان. تآكل المواسير بفعل ملحية تلك الوسائط يتم التغلب علية باستخدام موانع تآكل ومراقبة تعادلية المحلول بصورة دائمة ولا يجب أن تلامس وسائط التبريد الثانوية تلك مادة الزنك.

## نظم التحكم

تتطلب نظم التبريد الكبيرة نظم تحكم وإجراءات سلامة جيدة. نظم التحكم عادة ما تعطي بيانات عن كافة ظروف التشغيل لكل عناصر النظام فضلا عن بيانات درجة الحرارة والرطوبة وكافة ظروف تشغيل النظام المختلفة، فعلى الأقل يجب تجهيز لوحة التحكم بمصابيح مضيئة لتوضيح حالة تشغيل المراوح والضواغط ومستويات الموائع في الخزانات. يجب أيضا تصميم أجهزة التحكم بحيث تسمح بالتشغيل اليدوي للمحركات. الحواسب الصغيرة وأجهزة التحكم القابلة للبرمجة تسمح بتحكم دقيق حتى في أنظمة التبريد الكبيرة وتظهر أهميتها في خفض معدل إستهلاك الكهرباء أثناء فترات التحميل القصوى. لنفس الهدف تتم برمجة دورة تذويب الثلج لتعمل ليلاً وكذلك يمكن إيقاف عمل المراوح غير الضرورية ومحركات الضواغط أثناء ذلك. نظم التحكم المركزية يمكن من خلالها تسجيل بيانات التشغيل لفترات زمنية سابقة حيث يستعان بها لتشخيص أي أعطال ولعمل الموائمات اللازمة للنظام بغرض الحفاظ على الظروف التصميمية وتحسين كفاءة التشغيل. يمكن أيضا الدخول على تلك الأنظمة من خلال شبكة المعلومات الدولية بغرض تعديل أي من ظروف التشغيل.

### الخلاصة

درجة الحرارة، الرطوبة، نظم توزيع الهواء، التهوية، والسعة التبريدية تعتبر من أهم العوامل الخاصة بإختيار وتصميم نظم التبريد لمخازن الأغذية سريعة التلف. دائرة التبريد الميكانيكة هي النظام الأكثر شيوعا وتتكون من الضاغط، المبخر، المكثف، صمام التمدد. لكل من العناصر السابقة وظيفة محددة ويتم إختياره وفقا للغرض من النظام بهدف تحقيق أفضل جودة وأطول عمر تخزيني والتقليل من فقد الماء والتذبذب في درجة الحرارة. لنظم التبريد الثانوية العديد من المميزات أهمها الآمان في التشغيل وقلة شحنة وسيط التبريد الأولى المطلوبة. أيضا توجد إختيارت متعددة لوسائط التبريد وطرق تغذية المبخر بها. يجب مراعاة نظم التحكم وسلامة التشغيل خاصة لنظم الأمونيا لتفادي أى أخطار للمنتج أو للقائمين على التشغيل.

## الفصل الخامس

# التبريد السريع للحاصلات البستانية


### الملخص

للتبريد السريع للحاصلات البستانية أهمية كبرى للحفاظ على جودة تلك المنتجات وإطالة عمرها التسويقي وذلك من خلال خفض تنفسها للحد الأدنى والذي يعتبر داله في درجة الحرارة. توجد العديد من الطرق لتحقيق التبريد السريع: من خلال التبريد بدفع الهواء، التبريد المائي، التبريد بالتفريغ، التبريد بالثلج المجروش، أو التبريد السريع بإستخدام غرف التخزين العادية. تناسب كل من تلك الطرق أنواع محددة من المنتجات حيث يجب مراعاة العديد من المحاذير وذلك بغرض الوصول للنتائج المرجوة ولتفادي أي أضرار محتمله يمكن تعريض المنتج لها. سيتم في هذا الفصل بالإضافة لمناقشة ما سبق التعرض للسمات التصميمية والتصنيفات الأساسية للطرق المختلفة للتبريد السريع.


### مقدمة

الحفاظ علي جودة الحاصلات البستانية من أهم العمليات التي يجب السعي الدائم له بغرض تقليل الفاقد منها وبإعتبارها من أساسيات الأمن الغذائي والإقتصاد وذلك نظرا للأستثمارات الضخمة من الموارد الطبيعية التي تستخدم لإنتاجها مثل الماء والتربة الخصبة والموارد البشرية. تعتبر درجة الحرارة العامل الأهم للحد من معدل تنفس الثمار والذي يسرع من جميع مظاهر العطب والفساد وأيضا يعد التحكم فيه مفتاح النجاح للحفاظ على سلسلة التبريد (Cold chain) الخاصة بالمنتج والتي تشتمل على العديد من العناصر منها التبريد السريع والنقل والتخزين المبردين. المقصود بسلسلة التبريد هو السيطرة الدائمة على درجة حرارة المنتج والبيئة المحيطة به بدءاً من الحصاد وحتى الوصول للمستهلك.

تبدأ إدارة درجة الحرارة لفترة ما بعد الحصاد من عملية التخطيط للحصاد والتداول في الحقل حيث أن بعض المنتجات حساسة جدا لدرجات الحرارة غير الملائمة ويجب عدم حصادها في الجو الساخن أو في درجات الحرارة المرتفعة. مثال على ذلك عنب المائدة والذي تظهر عليه أعراض الذبول عند فقد 2 % من وزنه وإذا ما أريد الحفاظ على جودة العنق حتى مرحلة المستهلك فيجب عدم تعريض الثمار لأكثر من 0.5 % فقد في الوزن وذلك ما بين الحصاد وبداية التبريد، وبالرغم من أن العنب يمكن حفظه لأكثر من 8 ساعات على 20ºم قبل التبريد، فعند درجة حرارة 30ºم يجب بدء التبريد في خلال 1.5 ساعة بعد الحصاد. بعض المزارعين يقومون بعملية الحصاد ليلا وذلك لمنع تعريض الثمار لحرارة زائدة بعد الحصاد. تتم تلك الممارسات من خلال مرور العمالة الماهرة نهارا لوضع أشرطة عاكسة للضوء على العناقيد الصالحة للقطف لتقوم العمالة الأقل مهارة بالتقاط تلك العناقيد ليلا لسهولة التعرف عليها حيث يقومون بإرتداء أقنعة رأسية مثبت بها بطاريات ضوئية.

يجب ملاحظة أن التبريد لا يحسن من خواص المنتج بل يحافظ عليها حيث توجد مقولة مشهورة في هذا المجال هي أن تقنيات ما بعد الحصاد بمثابة فندق (يحافظ) لكنها ليست بمستشفى (تعالج). ومن ثم يجب البدء بجودة مقبولة وملائمة والتي ترتبط بطور النضج عند الحصاد وعلاماته المرغوبة مثل الحجم واللون ونسبة السكر والصلابة. يماثل هذا حسابات السعة التبريدية ونظم التحكم الملائمة والتي لا تتوقف فقط على مساحة، أبعاد، أو حمولة غرفة التبريد فالأمر لا يقتصر على التزويد بالبرودة فقط بل هناك الكثير من العوامل الأخرى كما سيتضح لاحقا.

من الطرق الأخرى لحماية المنتج من التأثيرات الضارة لدرجة الحرارة والمسببة للفاقد:

1- تحديد درجة إكتمال النمو المناسبة للغرض من التسويق والتقنيات المتوفرة لاحقا.
2- قطف الثمار بعناية والإستعانة بكافة المعدات اللازمة لذلك.
3- حماية النبات من أى إصابات ميكانيكية ومن الدهس أثناء القطف.

4- التعبئة الحقلية ما أمكن ذلك مثل الفراولة.
5- حماية المحصول من الحرارة والأمطار المباشرة عن طريق إستخدام أماكن مظللة للتخزين المؤقت في الحقل مع الأخذ في الاعتبار أن ظل الشجر يتحرك مع الشمس على مدار اليوم.
6- نقل البالتات (منصات التحميل) إلى العربات بعناية للحد من الإضرار بالعبوات.
7- إجراء عملية الفرز والتدريج في خطوة واحدة.
8- القيام برحلات مكوكية بين الحقل ومحطة التبريد وذلك لتقليل فترة التخزين المؤقت في الحقل.
9- التعبئة في صناديق فاتحة اللون تعمل على عكس حرارة الشمس والتقليل من امتصاصها.
10- للرحلات القصيرة يجب إستخدام عربات النقل المغطاة لنقل المنتج لمحطات التبريد، الرحلات الطويلة بحاجة لعربات مبردة.
11- مراعاة درجة ضغط الإطارات لتفادي الإهتزازات والإصطدامات.
12- البدء في عملية التبريد مبكرا قدر الإمكان بعد وصول المنتج لمحطة التبريد.

يتم التبريد السريع للحاصلات البستانية إلى درجات الحرارة الملائمة للتخزين أو النقل من خلال عدة نظم والتي تشتمل على التبريد في مخازن التبريد أو غرف التبريد العادية، التبريد الجبري بدفع الهواء، التبريد بالماء المثلج، تثليج العبوات، أو التبريد بالتفريغ. ربما يستخدم التبريد الميكانيكي في السفن وحاويات البحر المبردة لتبريد بعض المنتجات أثناء عمليات الشحن. القليل من طرق التبريد السريع (التبريد في مخازن التبريد، التبريد بدفع الهواء، التبريد بالماء المثلج) تستخدم لمدى واسع من المنتجات وهناك بعض المنتجات التي تتعدد طرق تبريدها السريع ولكن غالبية المنتجات تستجيب وتتوافق بشكل جيد مع طريقة أو طريقتين من طرق التبريد حيث ولإختيار الطريقة الأمثل عدد من المعايير الفنية واللوجستية والإقتصادية التي يجب أخذها في الإعتبار مع مراعاة الطرق الأكثر انتشاراً وملائمة للبيئة العربية من حيث ندرة المياه وتفادي أى تعقيدات يمكن أن تحدث بسبب تلوثها.

## لماذا عملية التبريد السريع عملية مستقلة؟

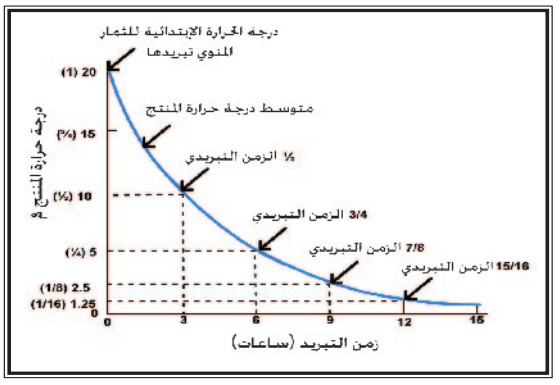
الوظيفة الأساسية لنظام التبريد السريع جيد التصميم هو أن يكون ذو كفاءة عالية، موفر للطاقة، وأن يمد المنتجات سريعة التلف بالسعات التبريدية الكافية لسحب حرارة الحقل منها بأسرع وقت ممكن. يجب أيضا أن يكون مسار وسط التبريد (الهواء، الماء، الثلج مثلا) بتدفقات، مسارات، وسرعات ملائمة. يجب أيضا أن يحد التصميم من عمليات الفقد في الوزن. أساس تصميم أى محطة تبريد سريع هو حسابات الأحمال الحرارية المفترض إزالتها من الغرفة ومن المنتج. الحمل الحراري للمنتج يعتبر هو الحمل الأكبر والأهم من مكونات الحمل التبريدي والذي يسهم بنحو ثلثي الحمل الحراري الكلي خلال فترة التبريد العابرة أو غير المستقرة وهي الخاصية المميزة لعملية التبريد السريع نظرا لتغير (إنخفاض) الحمل الحراري بمضي عملية التبريد.

لإنجاز ما سبق يتم إختيار معدات تبريد بسعات متوافقة مع الأحمال الحرارية المقدرة ومن ثم إختيار ضواغط ومبخرات وعناصر خاصة بعملية التبريد السريع. يتم تقدير الأحمال الحرارية وفقا لذروة توريد تلك الأحمال للمحطة وذلك من حيث الكميات ومن حيث درجة الحرارة الإبتدائية حيث يجب مراعاة إحتمالات التوسع المستقبلي. بناء عليه ولكل ما سبق فإن تشييد وتصميم وتشغيل محطات التبريد السريع تعتبر عملية منفصلة ومستقلة تماما عن غرف التخزين العادية. تعتبر السعات التبريدية المطلوبة لعمليات التبريد السريع 5 أو 6 أضعاف تلك المطلوبة لغرف التخزين المبرد .

## الفترة الزمنية لعملية التبريد السريع

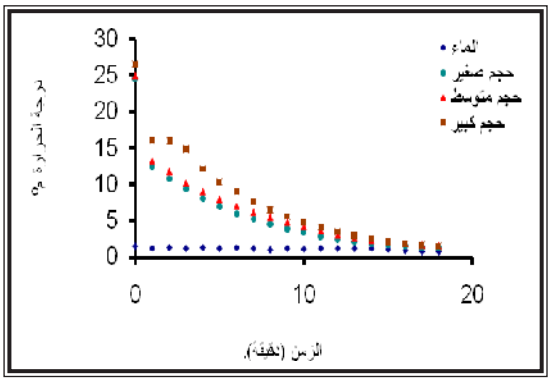
تعتبر عمليات تصميم وإختيار معدات التبريد السريع بالمعدلات الصحيحة للوصول لدرجة الحرارة النهائية المرغوبة من أهم الأهداف حيث وأنه كلما قصر الزمن اللازم لتحقيق الدرجة المطلوبة كلما زاد حجم المعدات وغلى ثمنها ولذا فإن المقاربة

الصحيحة والتي يجب أن يستخدمها غالبية المتخصصين في هذا المجال هو زمن «إستكمال عملية التبريد» . هذا الزمن يعني الزمن اللازم للوصول لدرجة الحرارة المرغوب نقل المنتج عندها لمخازن التبريد أو شحنه وهي لا تساوي درجة الحرارة النهائية المرغوب حفظ المنتج عليها للمدى البعيد. مثال على ذلك ولمنتج محدد وإذا ما كانت درجة الحرارة النهائية المرغوب حفظ المنتج عليها هي الصفر المئوي، فيمكن ضبط عملية التبريد لتنتهي عند ما يسمي «سبعة أثمان الزمن التبريدي» والذي بنهايته يكون المنتج على درجة حرارة أعلى قليلا من تلك المرغوب حفظه عليها. سبعة أثمان الزمن التبريدي هو ثلاثة أضعاف نصف الزمن التبريدي أى الزمن اللازم لوصول درجة حرارة المنتج لسبعة أثمان الفارق بين درجة حرارة المنتج الإبتدائية ودرجة حرارة وسط التبريد. معدل التبريد يعتبر قيمة ثابتة لنوع تعبئة ونظام تبريد محدد ولا يتأثر بتغير درجة حرارة المنتج الإبتدائية أو بدرجة حرارة وسط التبريد. عند تبريد الحاصلات البستانية تنخفض درجة حرارتها بصورة سريعة غير أن معدل هذا الإنخفاض يقل بإستمرار عملية التبريد حيث يوضح هذا شكل (1.5) وهو النمط التقليدي لعلاقة درجة الحرارة والزمن لعمليات التبريد السريع للحاصلات البستانية ولأى طريقة من طرق التبريد السريع.




**شكل (1.5)**: العلاقة النمطية بين درجة الحرارة والزمن لعمليات التبريد السريع المختلفة.

لتوضيح ما سبق بمثال وبالنظر لمنحنى عملية تبريد بالماء المثلج لثمار بلح البرحي ذو الأحجام المختلفة ووفقا لشكل (2.5). كانت الثمار ذات الحجم الكبير بدرجة حرارة إبتدائية 25°م وكانت درجة حرارة وسط التبريد (الماء المثلج) 1°م. نصف الزمن التبريدي هنا هو الزمن المقابل لخفض الفارق بين درجة الحرارة الإبتدائية للثمار ودرجة حرارة ماء التبريد بمقدار النصف. يبلغ هذا الفارق 24°م ومن ثم بخفض النصف من الدرجة الإبتدائية يكون هو الزمن المقابل لدرجة حرارة 13°م أى ووفقا للمنحنى السابق يكون في حدود 4-5 دقائق. سبعة أثمان الفارق ما بين درجة الحرارة الإبتدائية ودرجة حرارة ماء التبريد هي 21°م وبطرحها من درجة الحرارة الإبتدائية تكون درجة الحرارة المقابلة لسبعة أثمان الزمن التبريدي هي 4°م. من المنحنى نجد أن سبعة أثمان الزمن التبريدي يستغرق 11 دقيقة في حين يستغرق الأمر 18 دقيقة للوصول لدرجة حرارة 1°م، عادة ما يستخدم مصطلح أو تعبير "سبعة أثمان الزمن التبريدي" كمرجع عند التعبير عن زمن التبريد السريع النهائي.

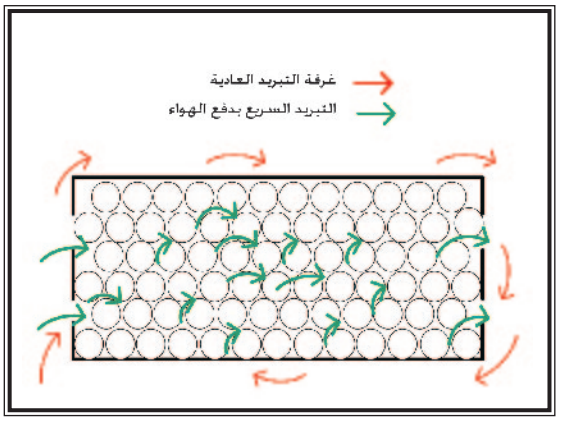



**شكل (2.5):** علاقة درجة الحرارة والزمن للتبريد المائي لأحجام مختلفة من ثمار التمر البرحي (Elansari, 2008).

في عملية التبريد السريع تؤثر كل من درجة حرارة المنتج الإبتدائية، درجة وسط التبريد، ومعدل تدفقه على الحمل التبريدي. البرحي في المثال السابق، فإن حصاده مبكرا في الصباح حيث تكون درجة حرارتة الإبتدائية أقل ما يمكن يؤدي لتقليل الحمل الحراري.

في مخازن التبريد ونظم التبريد السريع بدفع الهواء الجبري فإن المنتج القريب للهواء البارد يتم تبريده بصورة أسرع من عبوات المنتج البعيدة عن تيارات الهواء الباردة. ولذا يجب إدارة محطات التبريد بحيث يتم خفض درجة المنتجات الساخنة بصورة مقبولة وذلك قبل إنهاء عملية التبريد. يمكن أيضا تبديل أماكن بالتات المنتج لضمان الحصول على تبريد متجانس لكامل الحمولة.

## التبريد في مخازن أو غرف التبريد




**شكل (3.5)**: طريقة مرور الهواء في غرف التبريد العادية مقارنة بطريقة التبريد بدفع الهواء.

المقصود بغرف التبريد هنا أى حيز معزول يحافظ على درجة حرارة الصفر المئوي فأعلى. تقسم تلك الغرف للعديد من التقسيمات مثل التقسيم وفقا لدرجة الحرارة (تبريد أم تجميد)، للحجم (صغيرة، متوسطة، وكبيرة)، أو وفقا لنظام التداول الداخلي (رفوف، طبليات معدنية، صب). عادة ما يتم الحفاظ على درجة الحرارة من خلال نظم التبريد الميكانيكية. تعتبر تلك الطريقة للتبريد السريع هي الأبسط وتعد واسعة الانتشار وتضمن إستخدام مخازن التبريد العادية كمبردات سريعة حيث توضع صناديق الحقل كمادة خام أو عبوات المنتج النهائي في مخازن التبريد العادية. تستخدم تلك الطريقة مع المنتجات ذات العمر التخزيني الطويل والتي لا تتدهور بسرعة والتي عادة ما يتم حفظها في نفس الغرف مثل زهور القطف قبل التعبئة، البطاطس، البطاطا، الموالح، التفاح، الكمثرى، والبامية. في تلك الطريقة يمر الهواء البارد المدفوع من ملفات المبخر على عبوات المنتج من الخارج (شكل 3.5) ليتم تبريدها ببطء حيث لا توجد آلية لجبر الهواء البارد للنفاذ خلال فتحات العبوات للداخل ومن ثم المرور فوق وخلال الثمار الفردية ليسرع أو يُعجّل من عملية التبريد.

الميزة الرئيسية للتبريد في غرف أو مخازن التبريد هي أن المنتج يمكن تبريده وخزنه في نفس الغرفة وبدون الحاجة لنقله بالإضافة لإنعدام تكلفة المحطات المتخصصة في التبريد السريع. العيب الرئيس في تلك الطريقة هو بطء معدلات التبريد لغالبية المنتجات والتي يكون لها أثر سلبي على الجودة وعلى العمر التسويقي. لزيادة فاعلية التبريد يجب أن يكون توزيع الهواء منتظم وفي حدود 60 إلى 120 م/دقيقة في حين يجب أن يكون التدفق الكلي للهواء المدفوع من مراوح المبخرات في حدود 0.3 $م^3$/دقيقة لكل طن من المنتج وذلك لإزالة الحرارة بصورة ملائمة.

تتطلب تلك الطريقة في البداية وجود مساحات خالية في الأرضية بين رصات الصناديق لخلق قنوات يمر بها الهواء لتسريع عملية التبريد ولتسهيل عمليات التداول بعد إنتهاء عملية التبريد. يمكن أن تؤدي تلك الطريقة إلى فقد ماء في بعض المنتجات وذلك بالمقارنة بنظم التبريد الأسرع. أيضا من عيوبها أنها تستغرق زمن طويل والذي ربما يصل إلى أيام للوصول بالمنتجات المعبئة لدرجة الحرارة المرغوبة، تلك الطريقة ربما كانت أكثر فاعلية لتبريد ما قبل التعبئة وللثمار الفردية ولعمليات التخزين الصب (Bulk) حيث يتم تعريض الثمار لهواء التبريد بصورة جيدة. مثال على ذلك الزهور الموضوعة في عبوة والتي يمكن تبريدها في 15 دقيقة غير أن نفس الزهور وفي حال تعبئتها في صناديق ورصها على طبلية (بالتات) فإنها تستغرق أيام للوصول لدرجات الحرارة المرغوبة في ذات الغرفة. يوضح جدول (1.5) سبعة أثمان الزمن التبريدي لبعض المنتجات عند إستخدام تلك الطريقة في التبريد السريع غير أن البيانات المتاحة في هذا المجال ينقصها الكثير من الدقة مثل درجة الحرارة الإبتدائية، وزن حمولة المنتج، طريقة الرص، درجة حرارة وسط التبريد، السعة التبريدية المتاحة، كيفية ومكان قياس درجة الحرارة، وغيرها من العوامل. إستعمال الأرقام في الجدول المذكور هو فقط تقديري. بصورة عامة فإن نصف الزمن التبريدي بغرف التبريد يتراوح من 12 إلى 36 ساعة في حين أن سبعة أثمان الزمن التبريدي هو 36 إلى 108 ساعة.

**جدول (1.5)**: 7/8 الزمن التبريدي لبعض المنتجات بطريقة التبريد السريع بإستخدام غرف التبريد (Room Cooling Method)
(Thompson *et a*l, 2008; Elansari, 2008; Shokr *et al*., 1994.)

| المنتج | نوع التعبئة وطريقة الرص | نسبة الفتحات | متوسط زمن التبريد | أبطأ معدل للتبريد |
|---|---|---|---|---|
| التفاح | - صناديق خشبية، صب<br>- صناديق خشبية، رص | | | 3-2 يوم<br>8-6 يوم |
| الخرشوف | - صناديق متعرجة | | 24 ساعة | |
| العنب | - صناديق خشبية ورصات محكمة | | | 30 ساعة |
| الكمثري | - عبوة خشبية 10 lug كيلو جرام<br>- عبوة خشبية 10 lug كيلو جرام مغلفة<br>- عبوة تليسيكوبية بمسافات داخلية 2.54 سم.<br>- عبوة تليسيكوبية بدون مسافات داخلية | % 3.5<br><br><br>% 5 | 16 ساعة<br>30 ساعة<br>16 ساعة<br>24 ساعة | 20 ساعة |
| الخوخ | - عبوة متعرجة ممتلئ لأخرها بوزن 12 كجم<br>- 2.54 سم مسافة بينية<br>- لا مسافات بينية ولا فتحات تهوية جانبية | % 4 | | 22 ساعة<br>84 ساعة |
| بلح البرحي | - عبوة كرتونية ورص صب | % 5 | 6 ساعة | 13ساعات |
| البرتقال | - عبوة بعمق 61 سم صب بدون فتحات<br>- عبوة بعمق 76 سم صب بدون فتحات | | 33 ساعة<br>45 ساعة | |
| مانجو | - عبوة كرتونية ورص صب | % 6 | 32 ساعة | |

للحصول على أفضل النتائج بتلك الطريقة يجب رص الصناديق بحيث يمس الهواء البارد المدفوع سطح جميع الصناديق أو العبوات. العبوات جيدة التهوية والتي لها فتحات تتطابق على مثيلاتها في الصناديق المجاورة تُسّرع من معدلات التبريد بصورة كبيرة حيث تسمح للهواء البارد بالمرور خلال الصناديق أو العبوات. بعد إكتمال عملية التبريد يمكن خفض معدلات تدفق الهواء إلى 20 أو 40 % من تلك المطلوبة للتبريد المبدئي.

في حال ما كانت دائرة التبريد تعمل بنظام التمدد المباشر فإن المنتج يكون عرضة لكل ما سبق الإشارة إليه من إشكاليات نسبة الرطوبة المنخفضة والتذبذب في درجة الحرارة والذي يعد مشكلة رئيسية تؤدي لفقد زائد في الرطوبة.

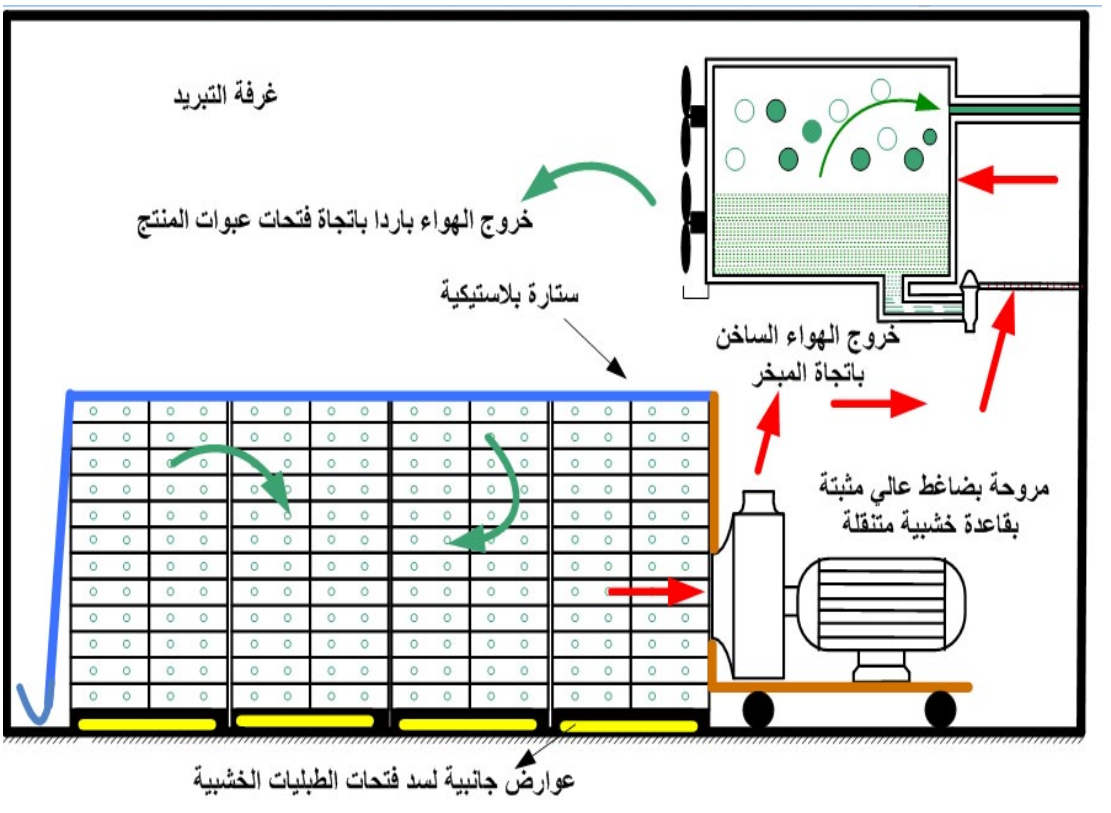
عملية تحويل محطات التبريد المنشأة فعليا إلى نظام التبريد بدفع الهواء الجبري عادة ما تكون بسيطة وغير مكلفة وذلك في حال توفر السعة التبريدية الكافية. لتحقيق هذا يجب أولا تقدير السعة التبريدية المتاحة. يعقب هذا إنشاء نفق متنقل بداخل الغرف على أن يخصم الحمل الحراري للمروحة الإضافية التي ستستخدم في هذا النفق من السعة التبريدية للغرفة ومن ثم تترجم تلك السعة التبريديه لعدد من الصناديق وفقا:

1- نوع المنتج.
2- وزن كل صندوق.
3- طريقة الشحن اللاحقة.
4- نسبة الفتحات الجانبية.
5- درجة الحرارة الإبتدائية وزمن دورة التبريد المطلوبة.

لتوضيح ذلك بمثال عددي فإن القدرة اللازمة لخفض حرارة صندوق عنب بسعة 5 كيلو جرام وبنسبة فتحات جانبية 5 % للنقل بالجو أو البر من 25 إلى 0.5 °م في فترة زمنية مقدارها 5 ساعات هي 0.0554 ك.وات/صندوق. لنفترض أن لدينا غرفة تبريد بسعة تبريدية صافية (بعد خصم الحمل الحراري لمروحة نفق التبريد السريع) 60 ك.وات. هذا يعني أنه يمكن تشييد نفق تبريد سريع لحمولة مقدارها 1080 صندوق (بقسمة 60 على 0.0554). بإفتراض أن البالتة تسع 96 صندوق يكون لدينا نفق لـ 11 بالتة من العنب (بقسمة 1080 على 96). يجب وضع النفق بحيث يتم دفع الهواء المسحوب من النفق باتجاه المبخر لتبريده. عقب عملية التبريد السريع يتم وضع الحمولة المبردة بأحد الغرف الأخرى والبدء في تبريد دفعة جديدة. يمكن وضع الدفعة السابقة بأحد الأركان ومن ثم وفي حال تبريد دفعة جديدة يمكن لدرجة حرارة الدفعة السابق تبريدها تبريدا سريعا أن ترتفع درجة حرارتها قليلا. يراعي دائما تقليل وزن الدفعات الجديدة نظرا لإنخفاض السعة التبريدية المتاحة حيث أن الدفعات السابقه التي تم تبريدها وتخزينها في نفس الغرفة تشكل مصدر حرارة بفعل تنفس المنتج بها. يوضح شكل (4.5) تصور لتلك العملية.

## التبريد السريع بإستخدام الهواء المدفوع (Forced air cooling)

يجب ملاحظة أن عملية التبريد السريع الجيدة تساهم في خفض الحمل الحراري المطلوب لمخازن التبريد وقد أشارت التقديرات أن عملية التبريد السريع الجيدة تقلل الفاقد من 20 إلى 30 % في المحاصيل سريعة التلف إلى 5 - 10 % فقط. عملية التبريد السريع تسمح بحفظ المنتجات لفترات زمنية أطول وبالتالي تعد تلك ميزة هامة للمنتجات كثيفة الإنتاج بحيث يتضرر صاحب المزرعة من طرح ما لدية للتسويق بأسعار غير ملائمة. العنب من أهم الأمثلة على ذلك.




**شكل (5.4):** كيفية إستخدام غرف التبريد العادية في عمليات التبريد السريع بدفع الهواء.

لذا فيجب بذل كل جهد ممكن لحفظه لأطول فترة ممكنه في مخازن التبريد وبأفضل جودة. أيضا للعنب عادة ما يشحن عن طريق البحر ويستغرق زمن الرحلة حوالي أسبوعين في بعض الأحيان، تعتبر عملية التبريد السريع فور الحصاد هامة جدا بغرض الإستفادة من أطول عمر تسويقي يمكن الوصول إلية لتسويق تلك المنتجات في أفضل حالتها والحصول على أعلى الأسعار. أيضا ونظرا للظروف المناخية الصعبة في بعض الدول العربية ولمساحتها الجغرافية الكبيرة يجب إعتبار تلك العملية بغرض تقليل الفاقد وللمحافظة على القيمة الغذائية للحاصلات البستانية.

طريقة التبريد السريع بدفع الهواء الجبري يمكن إستخدامها مع غالبية الحاصلات البستانية التي لا تتحمل التبريد بالماء وذلك بالمقارنة بنظم التبريد الأخرى وتعتبر أسرع من مخازن أو غرف التبريد كونها تتضمن تحريك ودفع الهواء خلال عبوات المنتج وليس فقط خارجها (على محيطها الخارجي). يسمح هذا للهواء البارد أن يتلامس مباشرة مع المنتجات الساخنة ليزيل منها حرارة الحقل وحرارة التنفس والماء الناتج عن ذلك وبالتالي يمنع تكثفه وما يسببه لاحقا من أعفان وغيره. يجب أن تكون عملية التبريد سريعة منتظمة لكافة رصات المنتج أو تلك المعبأة في صناديق كبيرة الحجم. يتباين معدل فقد الماء وفقا لخصائص فقد الرطوبة الخاصة بكل منتج على حده حيث يتراوح هذا الفقد من صفر إلى 2 % من الوزن الأولي. يتوقف هذا على الكثير من العوامل منها طريقة التحكم وكفاءة التشغيل، ونوع عملية التبريد السريع بدفع الهواء المستخدم من حيث كونه جاف أم مبتل.

من ضمن مميزات تلك الطريقة هو إمكانية تصميم محطاتها لتكون متعددة الأغراض مثل التخزين المبرد لكافة الحاصلات البستانية التي تتطلب معدلات رطوبة عالية وكذلك لتقوم بعملية التبريد السريع بكفاءة أيضا. يضاف لذلك إمكانية إستخدامها لكلا الغرضين السابقين معا. يمكنها أيضا القيام بوظيفة رابعة في حال خزن البطاطس من حيث التخلص من ثاني أكسيد الكربون بفعل فتحات للتهوية تعمل وفقا لمكونات الهواء الداخلي. من أهم ما يميز هذا التصميم هو وجود مراوح قوية بضاغط عالي ومجهزة بمغير للسرعات ومن ثم كمية التدفق المطلوبة من هواء التبريد .

يتم التحكم في سرعة معدلات التبريد بطريقة التبريد السريع بدفع الهواء من خلال حجم الهواء المدفوع والمار فوق المنتج. أقصى فاعلية تبريد تتطلب حوالي 0.001 إلى 0.002 م$^3$/ثانية/كجم من المنتج. معدلات دفع الهواء الأعلى من هذا تخفض فقط قليلا من زمن التبريد غير أن زيادة الهواء المدفوع تؤدي إلى زيادة كبيرة في الضغط الإستاتيكي المطلوب وتزداد بالتالي طاقة المراوح المستهلكه. بعض المنتجات يمكنها تحمل بطء معدلات التبريد حيث معدلات الهواء المدفوع تبلغ 0.00025 إلى 0.0005 م$^3$/ثانية/ كجم من المنتج. الضاغط الإستاتيكي المطلوب لتحقيق التدفق المرغوب للهواء لمنتج معين يعتمد بشكل كبير على تصميم فتحات العبوات وإستخدام مواد التغليف الداخلية.

## العبوات المتوافقة مع نظم التبريد بدفع الهواء

من العوامل التي يجب مراعاتها عند إختيار نوع العبوات الخاصة بالمنتجات سريعة التلف هي:

1- نسبة التهوية الجانبية والسفلية.
2- شكل الفتحات.
3- حماية المنتج من خلال قوة تصنيع تلك العبوات.
4- قوة تحملها لضغوط الرصات الفوقية.
5- العزل المائي والحراري.
6- التعريف بالمنتج والذي يحتوي على إسم الصنف ودرجته والمعلومات الخاصة بالشركة المنتجة.

لذا يجب أن تكون العبوات المستخدمة ذات قدرة تحمل عالية وأن تكون مقاومة للرطوبة لفترات لا تقل عن ثلاثة أسابيع أو معالجة بمواد شمعية عضوية في حال إستخدام نظم مائية. يجب أيضا أن تحتوي العبوات على نسب فتحات جانبية ملائمة للتدفق الأفقي للهواء المدفوع الخاص بعملية التبريد المبدئي لا تقل عن 5 %، وكذلك فتحات سفلية لتناسب التدفق الرأسي للهواء المدفوع للشاحنات المبردة وحاويات النقل البحري والتي لها نظم دفع هواء رأسي.

يجب أن يكون لهواء التبريد القدرة على المرور خلال كافة أجزاء العبوة ومن ثم يجب أن تظل فتحات العبوات غير مسدودة (مفتوحة) بعد الرص، في حال رص العبوات بطريقة منتظمة (متطابقة) فإن جوانب العبوات أو نهاية الفتحات ستكون كافية بشرط أن يكون مكانها صحيحا بالنسبة لمواد التغليف والتعبئة الداخلية للصندوق. إذا ما تم الرص بطريقة متعامدة فإنه يجب أن تتوافق

الفتحات الجانبية وفتحات نهاية الصندوق. العبوات التي أبعادها 400×300مم والتي ترص بطريقة متعامدة على طبليات أبعادها 1200×1000مم يجب مراعاة أن تظل الفتحات العمودية (الرأسية) بالمركز حول محيط العبوة متوافقة مع الرص المتعامد.

الفتحات القليلة في الصناديق تعيق سريان الهواء في حين الفتحات الزائدة تضعف الصندوق، النسبة الجيدة كحل وسط هي 5 % إلى 6 % على أن تكون بجانب أو بنهاية الصندوق. الفتحات القليلة الواسعة تكون أكثر فاعلية من الفتحات الكثيرة الضيقة وذلك لتسريعها من معدلات التبريد. الفتحات الموضوعة في منتصف المسافة من أعلى إلى أسفل تعد مناسبة ما لم تكن صواني المنتج داخل العبوة أو مواد التغليف الأخرى تحجب بعض المنتج، وتعتبر الفتحات الرأسية وبعرض 12مم على الأقل أفضل من الفتحات الدائرية ولذا يجب أن تصمم الفتحات لتقليل أثر إنسدادها. أى نوع من الأكياس غير المثقبة أو المنفذة أو مواد التبطين أو الفواصل الرأسية تعمل على إنسداد الفتحات وتُخفض من معدلات التهوية. في حال إستخدام مواد تبطين صلبه فإنها تطيل زمن التبريد غير أنه يظل مقبولا وذلك في حال ما تم تصميم الصندوق بحيث ينساب هواء التبريد أعلى وأسفل كل صندوق وأن تكون أعماق الصناديق بسيطة (أو سطحية).

صناديق الزهور عادة ما يكون لها فتحات قابلة للغلق حيث يتم قفلها عقب إنتهاء عملية التبريد ولذا فإن الزهور التي يتم شحنها في عربات غير مبردة تستطيع الحفاظ على درجة حرارتها لفترات أطول مقارنة بتلك التي تشحن في صناديق مكشوفة الفتحات.

في بعض الدول يشيع إستخدام صناديق الفيلين عديمة الفتحات الجانبية أو السفلية لتداول الخضروات والفاكهة مما يشكل عائق كبير لتلك الطريقة من طرق التبريد السريع ولذا يجب أن تتوائم تلك الصناديق مع متطلبات عملية التبريد السريع.

## تصنيف طرق التبريد بدفع الهواء

تصنف طرق التبريد السريع بدفع الهواء وفقا لإعتبارات عديدة:

1- آلية التحكم في الرطوبة (نظام جاف أم مبتل).
2- آلية نظام التبريد (تمدد مباشر أم نظام تبريد ثانوي).
3- نوعية سريان الهواء (أنفاق ثابتة، سريان زجزاجي (Serpentine) ، حائط بارد، سريان مستمر في أنفاق).

### النظام الجاف

وفقا للتصنيف الأول فإن الأنظمة الجافة والمبتلة (الرطبة) أحيانا تعتمد علي تصميم خاص للمبخرات (في حال التمدد المباشر) أو ملفات التبريد (في حال التبريد الثانوي) بهدف الحفاظ على مستويات عالية من الرطوبة أثناء عملية التبريد السريع والتي قد تصل إلي 95 %. للحصول على تلك النسبة من الرطوبة العالية يجب توفر سمات أو خصائص هامة في كلا النظامين يمكن توضيحها فيما يلي:

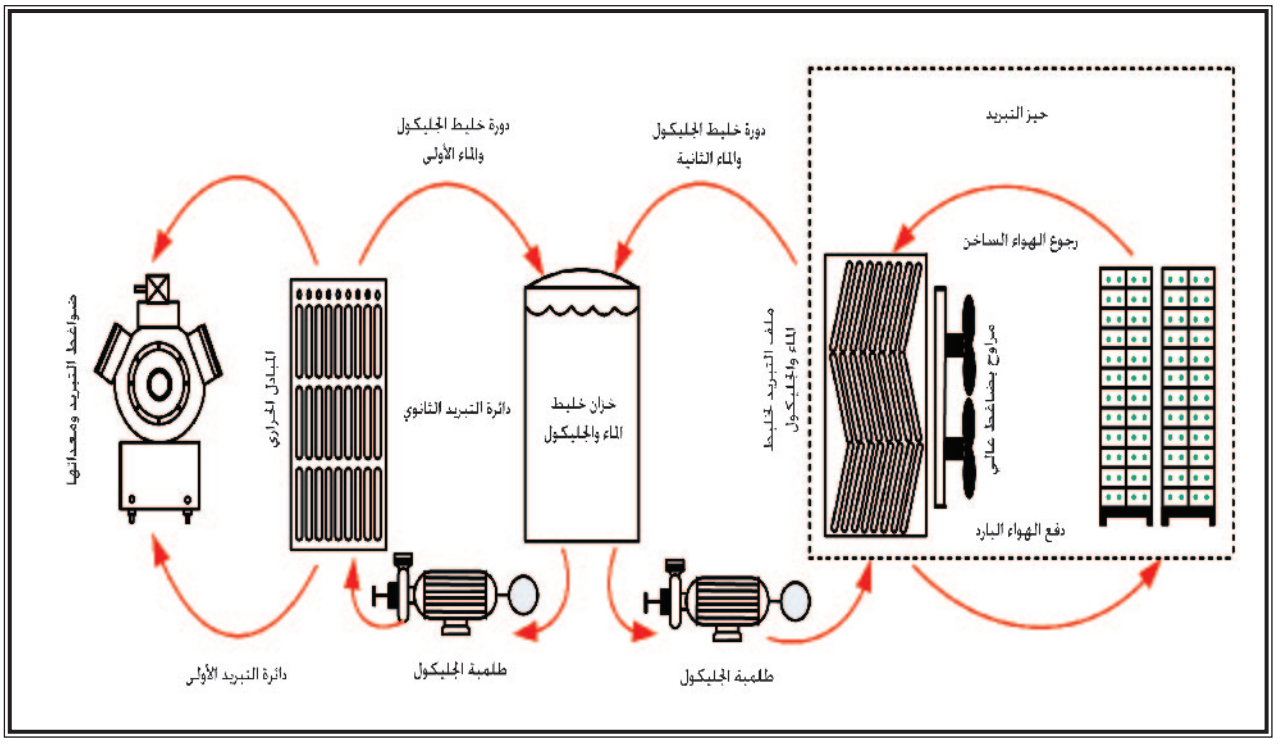
1- تحتوي على مجموعة من صمامات التحكم وحساسات درجة الحرارة للتحكم في فرق درجة حرارة ما بين الهواء المار خلال المبخر أو ملف التبريد ودرجة حرارة وسيط التبريد.
2- بها مغيرات السرعة بهدف التحكم في تدفقات المراوح للحد من أى جفاف محتمل تتعرض له المنتجات.
3- إستخدام مساحات سطحية كبيرة للمبخرات أو ملفات التبريد لتقليل الفارق في درجة حرارة الهواء الراجع على المبخر ووسيط التبريد داخله. يضاف لذلك ما تمثله المساحة السطحية وطريقة ترتيب وتصنيف الزعانف والمسافات بينها من دور هام في زيادة مستوى الرطوبة.
4- تتضمن أجهزة أمان تعمل وفقا لحساسات درجة حرارة توضع في تيار الهواء الخارج من داخل نفق التبريد حيث وفي حال إنخفاض درجة حرارة الهواء الراجع عن حد معين يتم إيقاف المروحة لمنع تجمد المنتجات.

5- يتم إختيار معدات التبريد بحيث يمكن التحكم في سعتها بنسب مختلفة أدناها 50 %. يفضل التحكم في تلك السعة في نطاق 25 % لتكون السعة المتوفرة في بداية عملية التبريد 100 %. بمضي الزمن تقل إلى 50 % ثم الى 25 %. يتم كل هذا بدلالة متوسط درجة حرارة الهواء الراجع إلى المبخر.

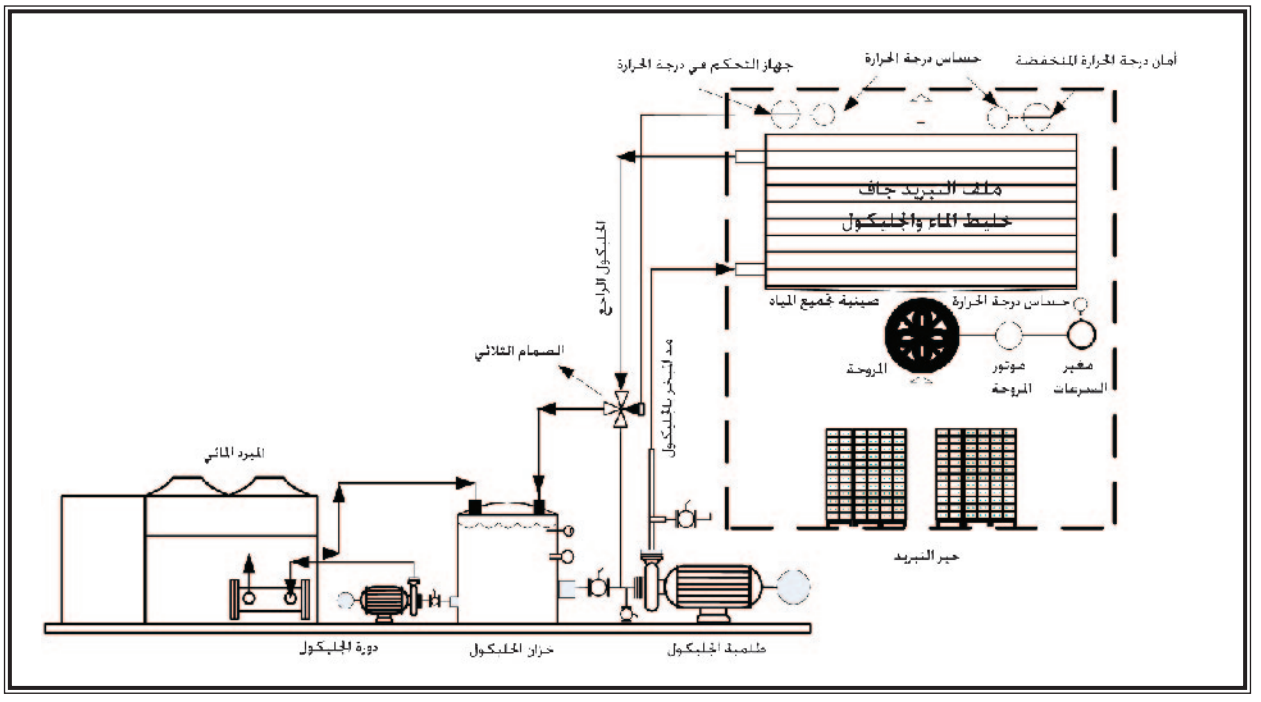
6- يتم إختيار المراوح الخاصة بتلك الأنظمة لتفي بالمتطلبات المرغوبة من حيث كمية الهواء المدفوع والضاغط الإستاتيكي اللازم للتغلب على أى مقاومة لسريان الهواء بفعل فتحات التهوية التي لا تقل عن 5 % بجدران العبوات، وأيضا للتغلب على المقاومة الناتجة بفعل مواد التغليف والتعبئة الداخلية.

**شكل (5.5)**: نظام تبريد سريع جاف بنظام التمدد المباشر.

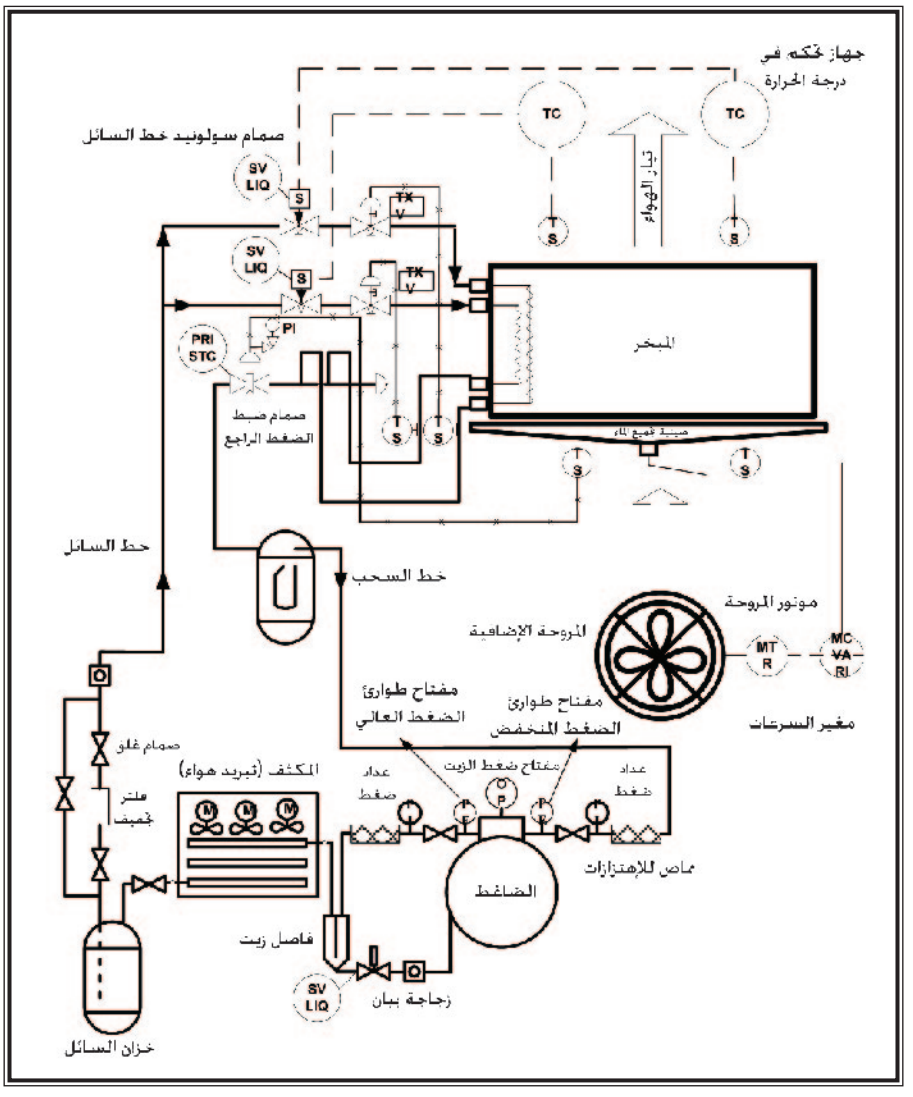
في الأنظمة الجافة (شكل 5.5) لا يتم إستخدام أجهزة ترطيب خارجية لزيادة نسب الرطوبة النسبية بل كل الترتيبات السابق الإشارة إليها توفر قدر مناسب للغاية من الرطوبة النسبية أثناء عملية التبريد السريع والذي يحد من الفقد في الوزن للمنتجات سريعة التلف. الرطوبة النسبية المطلوب تحقيقها أثناء عملية التبريد السريع بدفع الهواء يجب أن تكون أعلى من 85 %. يقدم شكل (6.5) تصور مبرد سريع جاف بدفع الهواء يعمل بالنظام الثانوي. من ضمن أجهزة الدائرة الموضحة بشكل (7.5) صمام ضبط الضغط الراجع الثانوي السابق شرحه في حين يقدم شكل (8.5) الدائرة التفصيلية لنظام التبريد السريع بدفع الهواء بالتمدد المباشر. يوفر هذا النظام رطوبة نسبية في حدود 85-90 % حيث تم تركيبه في العديد من المشاريع بمصر وبعض الدول العربية الأخرى لبعض الحاصلات البستانية مثل العنب، الفراولة، القاوون، الفاصوليا، المانجو.




**شكل (6.5)**: تصور لمبرد سريع جاف يعمل بنظام التبريد الثانوي.




**شكل (7.5)**: الدائرة التفصيلية لنظام تبريد سريع بدفع الهواء بإستخدام نظام التبريد الثانوي (Elansari and Tator, 1998)




**شكل (8.5)**: الدائرة التفصيلية لنظام تبريد سريع بدفع الهواء لدائرة التمدد المباشر (Elansari, 2009C).

يقدم شكل (8.5) الدائرة التفصيلية لنظام تبريد سريع بدفع الهواء بإستخدام دائرة التمدد المباشر والتي أيضا تم تركيبها لنفس الحاصلات البستانية وحققت نجاحا ممتازا للغرض الذي ركبت من أجله. في الأنظمة الأخيرة تم إستخدام وحدات تكثيف ذات ضواغط نصف مقفلة وتعمل بوسيط تبريد R143a. تشتمل الدائرة على خزان السائل، صمام تمدد إليكتروني، مبخر مكون من دائرتين وبمساحة سطحية في حدود 600 م$^2$ بالإضافة إلي خطوتين تحكم في سعة الضاغط. أيضا تم إستخدام مُغير للسرعات للتحكم في سرعة مراوح نفق التبريد والتي كان لها ضاغط إستاتيكي قدرة 400 باسكال. كانت المسافة بين زعانف المبخر في حدود 1.575 سم لضمان تدفق جيد للهواء.

لوسيط التبريد منظم ضغط خلفي (Back pressure regulator). وظيفة هذا الصمام المحافظة على درجة حرارة تبخر وسيط التبريد ثابتة لمنع إنخفاض درجة الحرارة بنهاية عملية التبريد ومن ثم لا يزيد الفارق بين درجة حرارة وسيط التبريد ودرجة حرارة الهواء المار خلال المبخر. بهذا لا يتم زيادة الفارق في درجة الحرارة بمضي الزمن ويتم الحافظ على نسب معقولة من الرطوبة النسبية حتى مع إنخفاض الحمل التبريدي. يتم إختيار هذا الصمام وفقا للسعة التبريدية للنظام حيث يعمل بشكل تلقائي لتحقيق الهدف السابق شرحه.

## النظام المبتل (الرطب) Wet cooling system (Ice banks)

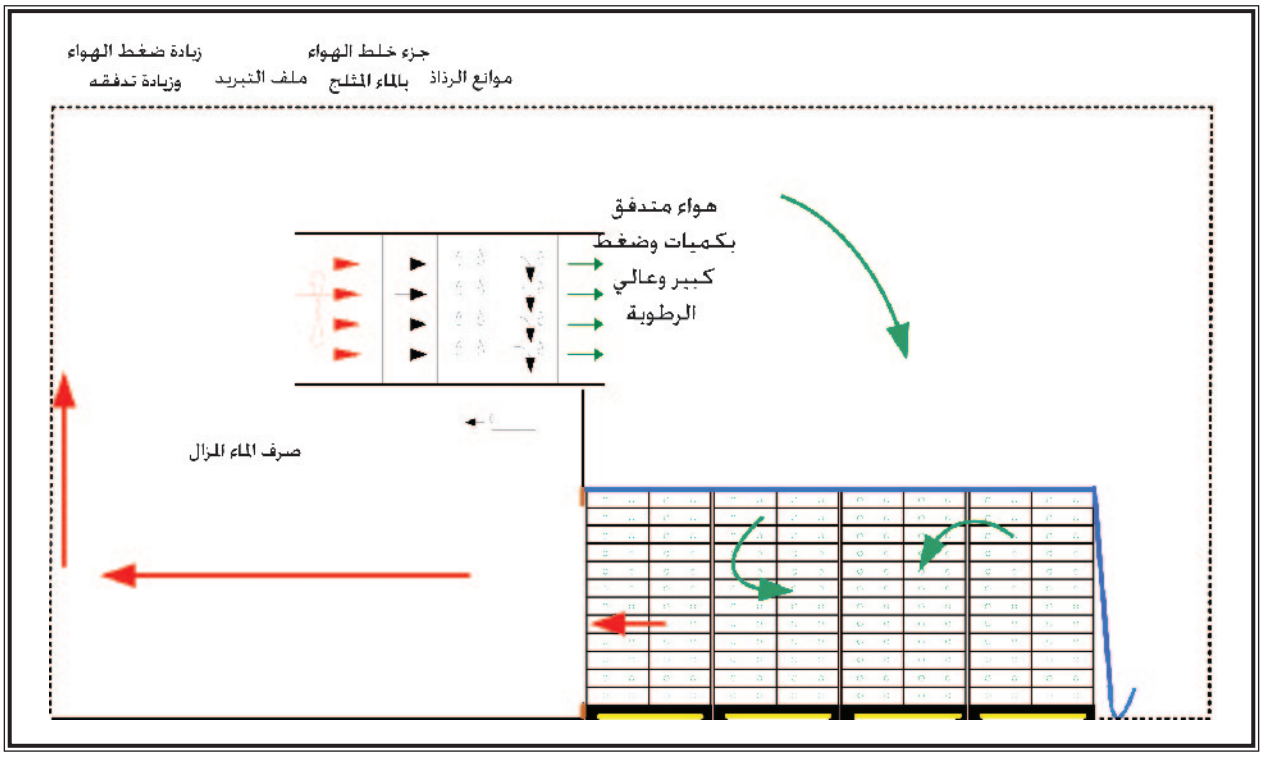
تم إستخدام هذا النظام لعمليات التبريد السريع للمنتجات سريعة التلف وزهور القطف لسنوات عديدة في الولايات المتحدة حيث قد تم تطويره من قبل الجمعية الأمريكية للهندسة الزراعية في سبعينيات القرن الماضي. تم تركيب هذا النظام (شكل 9.5) في الكثير من محطات التعبئة ولاسيما في البلدان النامية.

**شكل (9.5)**: نظام تبريد سريع رطب بنظام التمدد المباشر بمصر

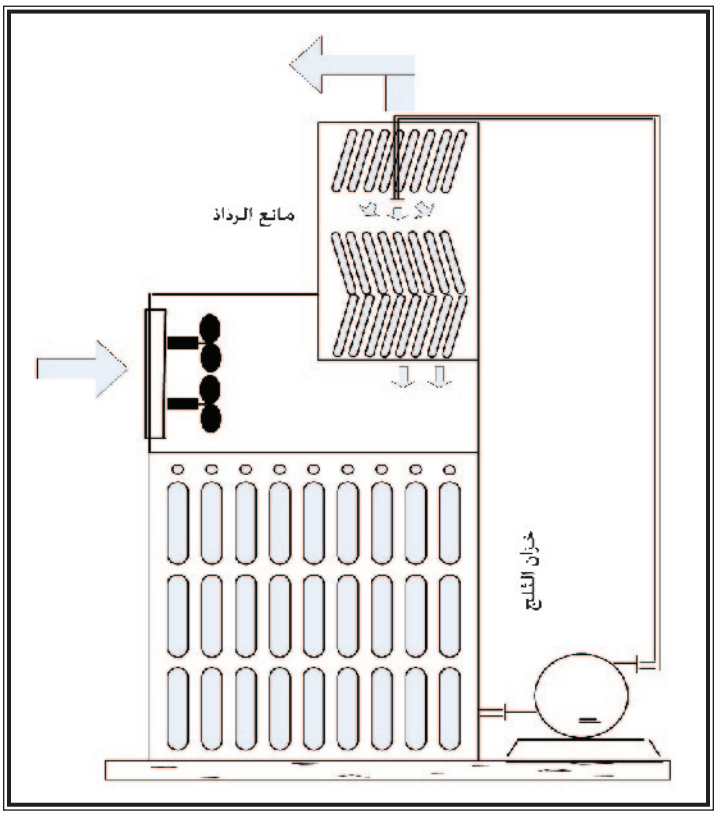
في تلك الطريقة يتم تمرير الهواء علي ماء مثلج بارد (Ice bank) ثم يتم تمريره بعد هذا على المنتج بعد تخليصه من قطرات الماء المختلطة به من خلال موانع مزيلة للرذاذ (Spray eliminator). يوضح شكل (10.5) الفكرة التصميمية لتلك الطريقة من طرق التبريد السريع. الخارج من الوحدة هو هواء بارد بدرجة حرارة 1.5 °م بنسبة عالية من الرطوبة قد تصل إلى 98 % مما يحد من عمليات الجفاف وفقد الرطوبة. موانع الرذاذ هي مصفوفة مصنعة من مواد سليلوزية ماصة للرطوبة. يتم ترتيب ما سبق في برج تبريد يثبت داخل الغرفة والذي يحتوي على مراوح بمعدلات تدفق ملائمة وبضاغط إستاتيكي عالي لتوزيع الهواء من أعلى نقطة أو من أسفل برج التبريد. يتم أيضا ضبط كمية الهواء المتدفق وفقا للغرض المطلوب. عادة ما تقع وحدة التبريد بالقرب من نهاية الغرفة وربما تكون من النوع السقفي وفقا لشكل (10.5) أو ذات الارتكاز الأرضي كما في شكل (11.5). يتم دفع الهواء البارد الرطب تجاه النهاية الأخرى للغرف ليتم سحبه من خلال فتحات عبوات المنتج المرصوص في شكل نفق ثم تقوم المروحة ذات الضغط العالي بإستعادة الهواء المحمل بحرارة المنتج ليتم تبريده ومن ثم دفعه مرة ثانية. يجوز لكل غرفة أن تحتوي على أكثر من وحدة وذلك وفقا للسعة التبريدية ومعدلات الإنجاز المطلوبة. متوسط معدل تدوير الهواء بتلك الوحدات يكون في حدود 40 مرة/ساعة.

تتضمن تلك الوحدات عادة خزان للماء المثلج يحتوي على ملف التبريد والذي يقوم بصناعة وبناء الثلج عن طريق مرور وسيط التبريد بداخل الملف ومن ثم يتجمد جزء من الماء المغمور والمحيط بالملف داخل الخزان. في حال إنخفاض الأحمال التبريدية والتي تحدث عادة بنهاية عملية التبريد ووصول المنتج للدرجة المرغوبة فإنه يمكن أن تتجمد نسبة كبيرة من الماء ولذا عادة ما تركب بالخزانات مقلبات ميكانيكية لضمان سيولة الماء بصورة دائمة حيث تعمل أيضا على إنتظام درجة حرارة الماء المثلج لتساهم في الإبقاء على معدلات نقل جيد للحرارة من وإلى الماء. تقوم تلك الأنظمة بتدوير الهواء المحمل بالرطوبة بفعل الماء المثلج لذا يجب

دائما معالجة تلك المياه للحد من وجود فطريات أو بكتريا والتي تسبب أمراض أو عدوى للمنتجات سريعة التلف. أيضا يجب التأكد من عدم ترذيذ الوحدات لأي قطرات ماء يمكن أن تؤثر على العبوات الكرتونية للمنتج ومن ثم تؤدي لإنهيارها في خطوات التداول اللاحقة بفعل إمتصاصها للماء. لهذا الغرض يستخدم الكلور بتركيزات تتراوح من 100 إلى 150 جزء في المليون غير أنه يسبب تآكل شبكة المواسير المعدنية لملفات التبريد، لذا يجب مراقبة تعادليته وتركيزه بصورة دائمة.




**شكل (10.5)**: مفهوم التبريد السريع بإستخدام النظام الرطب.




**شكل (11.5)**: برج تبريد المبرد السريع الرطب ومكوناته المختلفة (الإرتكاز الأرضي).

تستخدم مع تلك النظم دوائر التمدد المباشر التجارية بضواغط مغلقة (Hermetic) أو نصف مغلقة (Semi Hermetic) أو نظم التبريد الصناعية بإستخدام الأمونيا بضواغط لولبية. أيا كان النظام فيجب العمل على بناء البرودة (الثلج) ليلا حيث يكون الطلب على الطاقة في بعض الدول ضعيف ومن ثم يكون سعر الكيلو وات رخيص. أظهرت العديد من الدراسات موائمة تلك الوحدات لكل من التبريد السريع وكذلك للتخزين طويل المدى وأيضا إقتصادياتها الجيدة مقارنة بالنظم التقليدية حيث تم تطبيقها لكل من العنب، الخيار، الجزر، الطماطم، الفراولة، البطاطس، الخس، زهور القطف وغيرها.

تم تقييم العديد من محطات التبريد السريع بمصر من تلك النوعية حيث لوحظ أنها غير ملائمة للحاصلات البستانية التي يراد لها أن تشحن بحريا لأنه ولغالبية المنتجات تكون درجة الحرارة المرغوبة هي صفر°م في حين أدنى درجة حرارة يمكن الوصول لها بتلك الوحدات للمنتج هي 3-4 °م بالإضافة لبطء معدلات التبريد بفعل إرتفاع كثافة الهواء المحمل بالرطوبة.

## التصنيف وفقا لطرق سريان الهواء

### طريقة الأنفاق

في أنفاق التبريد بدفع الهواء - وهي أشهر نظم التبريد السريع- يتم رص عبوات أو طبليات (بالتات) المنتج على جانبي مروحة دفع الهواء بحيث يترك ممر بين الصفوف يتم تغطيته وتغطية نهايته المفتوحة بستائر مناسبة وذلك لخلق أو إنشاء نفق هواء كما هو موضح في شكل (12.5). مروحة الهواء تعمل على خلق ضغط هواء منخفض داخل النفق ومن ثم يتحرك هواء الغرفة البارد من خلال فتحات العبوات أو ما بين العبوات (بقفل الفراغات البينية) باتجاه منطقة ضغط الهواء المنخفض (الممر المغطى بين الرصات) مزيحا في طريقه حرارة المنتج. تعمل مروحة الهواء بصورة دائمة حيث تقوم أيضا بتدوير الهواء فوق مبخر التبريد لتعيده مرة أخرى لحيز الغرفة. يمكن أيضا أن تكون مروحة الهواء متنقلة حيث يتم وضعها لتوجيه الهواء الساخن باتجاه الهواء الراجع من غرفة التبريد باتجاه مبخرات التبريد كما سبق إيضاحه.

**شكل (12.5)**: الأنفاق محملة بعبوات الطماطم.

### الحائط البارد

يعتمد نظام التبريد بدفع الهواء الجبري والذي يستخدم طريقة الحائط البارد على حيز هواء مجهز بمراوح دفع الهواء. هذا الحيز عادة ما يفتح عند نهاية غرفة التبريد أو على أحد جوانبها. مراوح الدفع تصمم لتحريك الهواء فوق ملفات أو مبخرات التبريد، ولأن الفتحات موجودة على طول الحائط بجانب الغرفة ومقابلة لرصات العبوات والموضوعة أمام تلك الفتحات، فلا تستخدم تلك الطريقة مع صناديق المنتج ذات الحجم الكبير. توجد أنواع مختلفة للتصميمات الخاصة بضبط تدفق الهواء وذلك لضمان أن عملية التدفق فقط تتم عند وضع طبليات المنتج أمام حائط التبريد وتعتبر هذه ميزة هامة جدا حيث تستغرق عملية بناء نفق واحد في كثير من الأحيان الكثير من الوقت ويضر هذا بعض المنتجات بفعل تأجيل بدئ عملية التبريد السريع بإنتظار إكتمال النفق. في الحائط البارد تبدأ عملية تبريد كل طبلية أو بالته فور وضعها. يمكن عمل رفوف حتى يمكن تبريد طبقات متعددة من البالته ويمكن أيضا تبريد عبوات مختلفة لمنتجات متنوعة وطبليات غير مكتملة وذلك في حال التصميم المناسب

**شكل (13.5)**: نظام الحائط البارد لتبريد محاصيل ورقية بمحطة تعبئة.

لعمليات دفع الهواء. يجب متابعة درجة حرارة كل بالته بصورة مستقلة وتنقل من المبرد فور الوصول لدرجات الحرارة المرغوبة وذلك لتجنب تعريضها للجفاف نتيجة إستمرار تعرضها للهواء السريع البارد. يوضح شكل (13.5) أحد تلك الجدران والذي يتم تغطية الفتحات الغير مفعلة بستائر بلاستيكية.

## التبريد المائي

يعد التبريد السريع بالماء البارد وسيلة فعالة للتخلص من حرارة الحقل وذلك لعدد كبير من الخضروات والفاكهة سواء كانت معبئة بصورة نهائية أو كمادة خام. عادة ما تبلغ القيمة النموذجية لسبعة أثمان زمن التبريد في طريقة التبريد المائي 10 دقائق للمنتجات صغيرة القطر مثل البلح والخرشوف في حين يصل لـحوالي الساعة للمنتجات كبيرة القطر مثل القاوون. توجد طريقتان لتطبيق التبريد المائي وذلك من خلال تغطيس الثمار بالكامل بالماء (للمنتجات عالية الكثافة) أو الحمام (الدش).

في كلا الطريقتين يكون المنتج في تلامس مباشر مع الماء البارد. التبريد المائي يجنب المنتج فقد الماء وربما يضيف قليل من الماء للمنتجات الذابلة والتي عادة ما تكون من الخضروات الورقية ومن ثم يعيد لها جزء من حيويتها حيث يلاحظ الأتي:

1- التبريد بإستخدام الماء عادة ما يستخدم لأنواع عديدة من الفاكهة مثل القرعيات، الخضروات الجذرية، وللخضروات ذات العنق.
2- معظم الخضروات الورقية يمكن تبريدها مائياً ولكن عادة ما تبرد بواسطة التفريغ أو التفريغ المصحوب بترذيذ الماء حيث تعد هذه الطرق أسرع ولا تتطلب إستخدام عبوات مقاومة للماء.
3- العنب، الزهور المقطوفة، ومعظم التوتيات لا تبرد إطلاقاً بإستخدام الماء وذلك لان الماء الذي يبقى على سطحها بعد عملية التبريد يساعد على التحلل.

ولكي تتم عملية التبريد المائي بكفاءة عالية يجب أن يراعى الأتي في المياه المستخدمة:

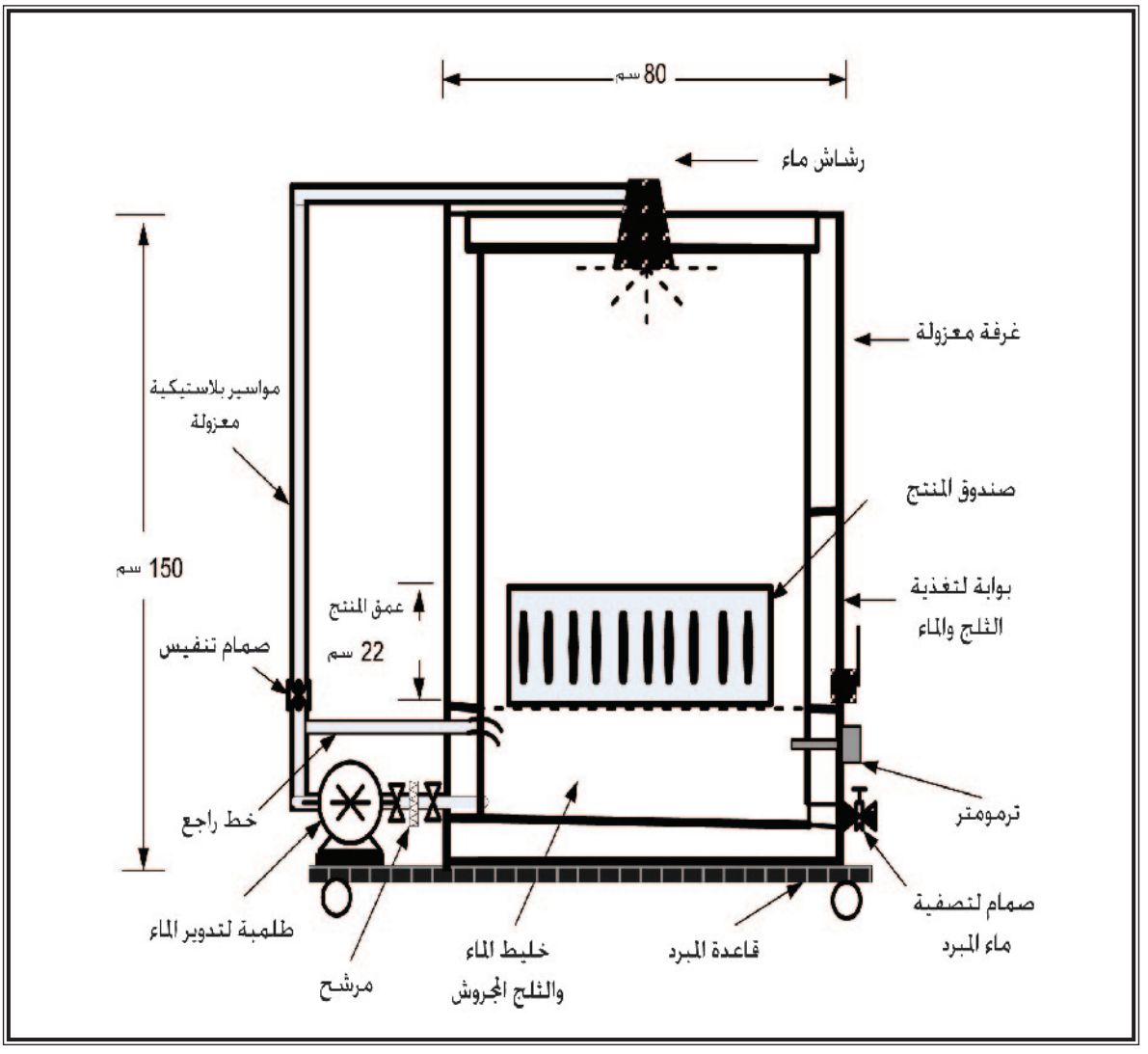
- أن يتم تدويرها فوق سطح المحصول بمعدلات وسرعات معقولة.
- يجب أن تحتك بأكبر مساحة ممكنه من سطح المحصول بقدر الإمكان .
- يجب أن تكون السعة التبريدية كافية لتبقى درجة حرارة الماء باردة في حدود الدرجة المرغوبة .
- يجب أن تكون نظيفة وخالية من إى كائنات حية تسبب التحلل.
- يفضل لنظام التبريد المائي أن يكون متنقلا لإطالة موسم التبريد ومن ثم زيادة جدوى إستخدامه.
- يجب أن تكون العبوات المستخدمة مقاومة للماء.

## المبردات المائية من نوع الرش

يوجد نوعان رئيسيان من المبردات المائية وهما الرش بالماء أو بالغمر، في التصميم الأول يتم دفع الماء البارد من فوق صينية توزيع مثقبه ترش أو توزع الماء فوق المنتج والذي إما أن يكون المعبأ (في عبوات أو صناديق كبيرة الحجم) أو صب وموضوع على سير ناقل، يتم التحكم في سرعة السير وفقا لمعدل التبريد المطلوب وللسعة الإنتاجية للنظام. تتم تنقية الماء الراجع لإزالة الشوائب منه ومن ثم تمريره على ملف التبريد (أو الثلج) لسحب الحرارة منه وإعادة تبريده. يوضع ملف التبريد أسفل أو بجوار السير أو أعلى صينية توزيع الماء. بعض المنتجات مثل الخضروات الورقية تكون حساسة لسقوط أو إندفاع الماء بقوة عليها ولمثل هذه المنتجات يجب أن تكون صينية توزيع الماء على بعد 20 سم على الأقل فوق سطح المنتج المعرض مباشرة للماء. تلك المنتجات يمكن أيضا أن تبرد مائيا بالتغطيس.

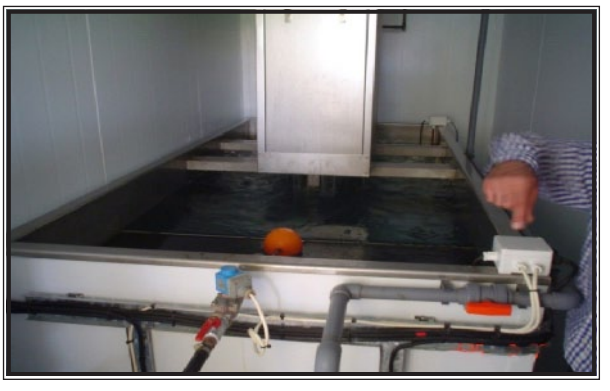
عادة ما يتم تبريد عبوات المحصول كدفعة واحدة في هذا المبرد وذلك كمرحلة أولى من مراحل سلسلة التبريد حيث يعقب ذلك الخزن أو الشحن المبرد. ينطبق هنا ما سبق الإشارة إليه من حيث تقليل السعة التبريدية وتوفير الطاقة حيث أن الحصاد المبكر للمنتج وعلى درجات حرارة إبتدائية منخفضة يساهم في ذلك. يستخدم في بعض الأحيان رشاشات لترذيذ الماء فوق المحصول وتوزيعه بصورة متجانسة غير أنها تحتاج لطاقة ضخ أعلى مقارنة بالطريقة السابقة كما تتطلب عملية صيانة دائمة لتفادي إنسداد فوهاتها بفعل وجود الشوائب.

يوضح شكل (14.5) نموذج لمبرد مائي يعمل بالرش يستخدم لتبريد ثمار بلح البرحي حيث تبلغ سبعة أثمان الزمن التبريدي من 6 إلى 10 دقائق وفقا لحجم الثمار ودرجة حرارتها الإبتدائية (Elansari, 2008). يتكون المبرد من صندوق معزول وطلمبة لتدوير المياه بقدرة تبلغ 0.5 ك.وات. يمكن تعميم هذا النموذج وفقا لنوعية المنتج وحجم الإنتاج حيث يعتبر مبرد دفعات.

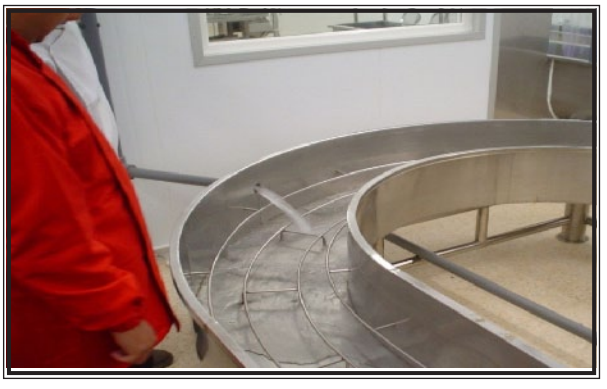



**شكل (14.5)**: نموذج لمبرد مائي بنظام الدفعات.

يوضح أيضا شكل (15.5) مبرد مستمر لسلاطات الفاكهة ويتم تغذيتة بالماء البارد (شكل 16.5) وتعقيمه بالكلور وقياس تعادلية الماء بصورة مستمرة.



**شكل (16.5)**: نظام تغذية الماء للمبرد المائي المستمر.



**شكل (15.5)**: مبرد مائي من النوع المستمر لسلطات الخضروات.

**المبردات المائية من النوع المغمور**

تستخدم مبردات الغمر بصورة أساسية للمنتجات التي يتم تبريدها بكميات كبيرة وتكون غير معبأة Bulk والتي لها كثافة أعلى من كثافة الماء ومن ثم تظل غاطسه تماماً ومثال على ذلك القاوون. عادة ما يستخدم سير ناقل قوي مزود بزوائد لنقل الحركة وتحريك المحصول عبر حمام الماء البارد حيث يكون لكل من طول الحمام وسرعة السير تأثير مباشر على معدل التبريد المتحصل عليه بالإضافة لتأثير معدل تدوير الماء ودرجة حرارته. تعتمد كفاءة التبريد على التدفق الملائم للماء فوق سطح المنتج. للمنتجات المعبأة في الصناديق كبيرة الحجم عادة ما يستخدم معدل تدفق للماء بقيمة 13.6 إلى 17 لتر/ثانية/م$^2$ من المساحة السطح ية. غالبا ما تصمم المبردات المائية للصناديق كبيرة الحجم لتناسب رصات مزدوجة لصناديق المنتج فوق السير الناقل في حين تطلب المنتجات الصب أو السائبة (الغير معبأة في صناديق وموضوعة فوق السير الناقل) تدفق ماء بقيمة 4.7-6.8 لتر/ثانية/م$^2$.

المبرد المائي من نوع المرش (سواء السير المتحرك أو الدفعات) يعتبر الأكثر شيوعا ولكن يستخدم في بعض الأحيان نظام التغطيس. الخضروات الطازجة المقطوعة (Fresh-cut) عادة ما يتم تبريدها أثناء نقلها في تيار من الماء وذلك خلال عملية الإنتاج حيث يكون المنتج صبا (سائبا) ويكون في حال تلامس مباشرة مع الماء البارد من خلال السريان في خزان طويل من تيار الماء البارد. هذه الطريقة تعد مناسبة للمنتجات التي لا تطفو على سطح الماء غير أن معدلات التبريد الناتجة تكون بطيئة لأن المنتج ببساطة يتحرك في نفس إتجاه الماء غير أنه وفي طريقة التغطيس يتحرك المنتج عكس إتجاه سريان الماء وعادة ما تكون هناك نظم لتقليب الماء. يجب أن تصمم السيور بحيث يتم الدفع الإيجابي للمنتج داخل وخارج الماء.

كما سبق إيضاحه فإن غمر المحصول في الماء البارد يتيح ملامسة كل الأسطح للماء بفعل إنتقال الحرارة بطريقة التوصيل ولذا يجب دفع الماء ليتخلل المسافات البينية حول الثمار الفردية للخضروات والفاكهة وليس فقط حول العبوات أو كميات المحصول ولهذا السبب تستخدم مضخات لتدوير وضخ الماء للتأكد من دفع الماء حول المحصول بصورة كافية، سرعة الماء المتوسطة الموصى بها للخوخ على سبيل المثال وللحصول على تبريد سريع هي 0.076 متر/الثانية. يجب تدوير أو تقليب الماء بصورة مستمرة حيث وفي بعض الأنظمة تستخدم أجهزة خاصة لإحداث فقاقيع هوائية داخل الماء بغرض تقليب الماء مما يزيد من معدل التبريد، يجب في تلك الطريقة إعادة إستخدام الهواء والذي يتم تبريده أثناء إرتفاعه إلى أعلى خلال الماء. مبردات الغمر عادة ما تتطلب زمن تبريد أطول من مبردات الرش بالماء.

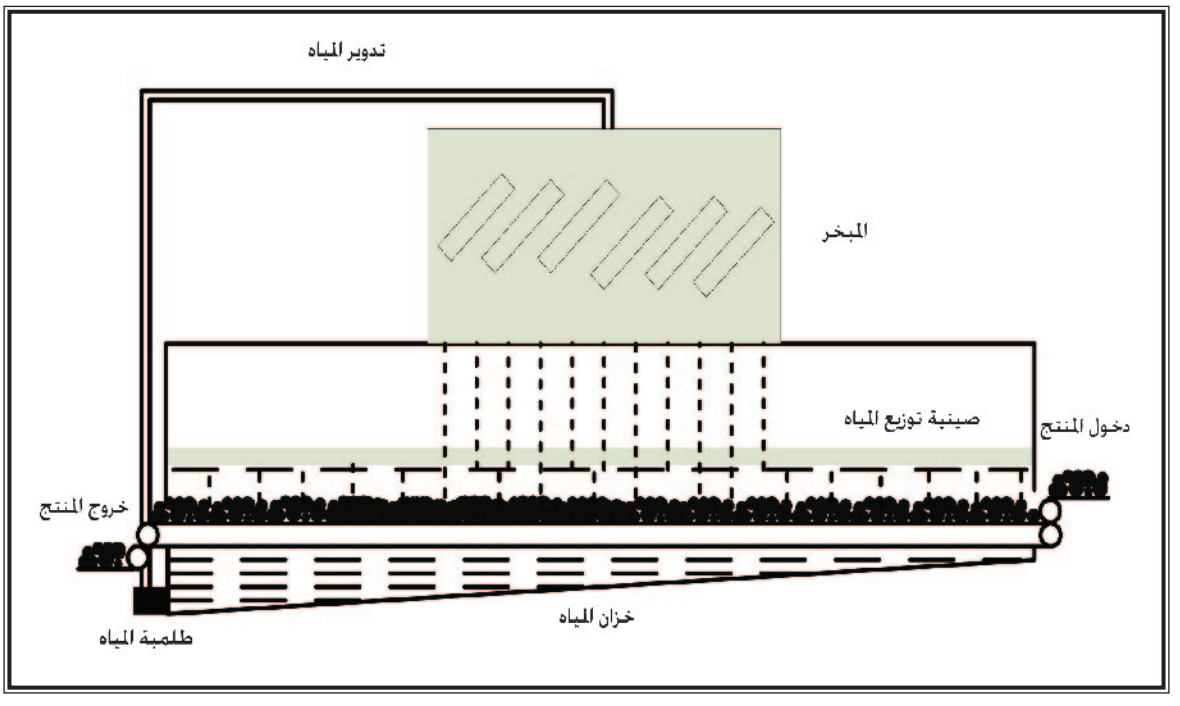
**نظم التبريد للمبردات المائية:**

في النظم الكبيرة يبرد الماء من خلال نظام تبريد ميكانيكي حيث يتم ذلك من خلال مبخرات مغمورة في أحواض الماء ليمر وسيط التبريد داخل أنابيب المبخر ويتم تدوير الماء حوله بصورة مستمرة حتى الوصول لدرجة الحرارة المرغوبه ومن ثم يتم دفعه لاحقا من خلال شبكة أنابيب وطلمبات للمبرد المائي. عادة ما تكون تلك المبخرات من الأستنالس ستيل وكذلك أحواض الماء لتفادي أى تلوث. يمكن إستخدام نظم التبريد التجارية في حال الأحمال الحرارية الصغيرة أما في حال الأحمال الكبيرة فعادة ما يستخدم النشادر. حسابات سعة أنظمة التبريد المائي هي نفس حسابات سعة التبريد لغرف التبريد السريع بدفع الهواء حيث تكون مصادر حمل التبريد هي:

1- الفقد الحراري من المنتج.
2- الفقد الحراري من مواد التعبئة.
3- الهواء المتسرب لحيز التبريد.
4- الحرارة المنتقلة بالتوصيل من خلال الأسطح الخارجية ومكونات المبرد.
5- الحرارة الناتجة من عملية الإضاءة، آلات الرفع، وأفراد الخدمة.
6- حرارة التنفس للمنتجات.

عادة ما تكون الحرارة المفقودة من المنتج عالية في بداية عمليه التبريد ثم تنخفض سريعا باستمرار عملية التبريد لذا يجب تصميم نظام التبريد المائي لتتعامل مع كميات الحرارة الكبيرة المنطلقة في ذروة عملية التبريد وكقاعدة بديهية فان 75-80 % من الحمل التبريدي هو لتبريد المنتج.

غالبية المبردات بإستخدام الماء تعمل وفقاً لدورة التبريد الميكانيكية، أحيانا يتم تركيب المبرد المائي بالخارج في أجواء غير معزولة لكن في حالة تركيب المبرد في غرفة مبردة ستنخفض السعة التبريدية المطلوبة بمقدار 25 – 30 %. كما سبق الإشارة إليه يستخدم الثلج في بعض المبردات الصغيرة وفي فترات موسمية قصيرة وذلك في المناطق النائية، إستخدام الثلج مكلف ويتطلب جهد كبير لجرشه إلى أجزاء صغيرة ليتم وضعه في المبرد بعد ذلك. عادة ما يتم وضع ملفات التبخير في خزان الماء أسفل المحصول غير أن وضعهم أعلى صواني توزيع الماء يسرع من معدل مرور الماء فوق المحصول مما يؤدي إلى معدل تبادل حراري أفضل وكما هو موضح بشكل (17.5)، حجم المبخر المطلوب في هذه الحالة يكون أصغر وأقل ثمناً، وضع المبخر في هذا المكان أيضاً يجعل حجم خزان الماء المطلوب صغير مما يؤدي إلى خفض الطاقة المطلوبة ويرشد إستخدام الماء . في حالة عدم تغطيس الملفات في الماء فإن خزان الماء يحتاج فقط لأن يتسع لفتحة السحب الخاصة بالمضخة وكذلك الفلاتر، ويجب أن يكن هناك حجم إضافي أثناء عملية التشغيل وذلك ليسع الماء الراجع بعد إمتلاء الأنابيب وصواني التوزيع والعبوات. عادة وقبل عملية التشغيل يتم بدئ عمل المبرد بفترة كافية لتبريد حمولة المبرد من الماء. في بعض الأحيان ولتخفيف الضغط المطلوب على إستعمال الكهرباء فإن تكاليف إستخدام الكهرباء أثناء النهار أغلى منها أثناء الليل وذلك في بعض دول الشرق الأوسط ولكن لسوء الحظ فإن معظم المنتجات يلزم تبريدها نهارا. يمكن ترشيد إستخدام الكهرباء أثناء النهار من خلال إستخدام نظم تبريد الثلج المتراكم والذي يمكن تصنيعة ليلا وإستخدامه نهارا وهذا النظام يستخدم وحدات تبريد متطورة لتجميد الماء في ملفات التبخير داخل خزان الماء حيث يمكن لهذا النظام أن يعمل 24 ساعة يوميا لينتج ثلجا يتم إذابته حين يصل الطلب على التبريد ذروته. يعتبر هذا النظام إقتصاديا حين يتطلب الأمر تركيب معدات جديدة تزيد من إستخدام الكهرباء وتساوى تقريبا تكاليف معدات تصنيع الثلج مع تكاليف تركيب وحدات صغيرة السعة من الضواغط والمكثفات. الماء المتجمد حول الملفات يركز المواد المترسبة في الماء الباقي غيرالمتجمد، ويمكن التخلص من هذه الرواسب من خلال صرفها وذلك عندما يبلغ حمل الثلج على الملف أقصاه لينخفض بذلك الفقد في السعة التبريدية.




**شكل (17.5)**: مبرد مائي من نوع الرش المستمر (Thompson *et al*., 2008)

في دراسة لحساب الطاقة اللازمة لتبريد نوعين من الفاكهة ذات النواة الحجرية بإستخدام الماء أتضح أن 35 % من طاقة التبريد المستخدمة كانت لتبريد المحصول في حين أن 27 % من الطاقة أستخدمت لإزالة الحرارة التي تعرض لها سطح المبرد من الخارج وكذلك الأنابيب والحرارة التي يحملها الهواء المتسرب للمبرد، 10 % كانت لإزالة الحرارة المضافة بواسطة مضخة المياه، 8 % لتبريد المياه قبل بداية التشغيل، 2 % لتبريد مياه البئر التي أضيفت لتعويض المياه المتسربه. الطاقة المستهلكة من قبل المبردات المائية يمكن ترشيدها من خلال:

1- عزل المبرد والأنابيب.
2- منع تسرب الهواء إلى المبرد.
3- وضع المبرد تحت مظله أو وضعه داخل غرفة تبريد معزوله.
4- تقليل كمية المياه التي يتم ضخها بإستخدام صواني ترذيذ المياه بدلا من رشاشات ضخ المياه.
5- تقليل حجم خزان المياه.
6- تصميم المبرد بحيث يبقي على معظم المياه المستخدمة لتبريد المحصول.
7- تبريد المحصول بعد عملية فرزه لتفادي تبريد منتجات لن يتم تسويقها.

## السعة الإنتاجية للمبردات المائية

يمكن تقدير كمية المنتج التي يستوعبها المبرد المائي من خلال معرفة زمن التبريد ومعدل الإنتاج المطلوب وكمثال على ذلك فإنة وفي حال كان زمن التبريد المطلوب هو 20 دقيقة لتبريد محصول مثل الخوخ بمعدل إنتاج 60 طن/ساعة، يجب أن يتسع المبرد بدرجة كافية لتبريد 60 طن، تحسب مساحة سير المبرد بضرب سعة السير في المساحة المطلوبة.

تزن بالتة الخوخ تقريباً 450 كجم (أبعاد البالتة 1.2 م × 1.2 م) وإذا ما تم وضع طبليتين (بالتتين) فوق بعضهم البعض فإن 1.44 م$^2$ تكفي واحد طن من المحصول وبالتالي يحتاج المبرد لمساحة تعادل حاصل ضرب 20 طن × 1.44 م$^2$ / طن حيث تساوي تقريبا 30 م$^2$.

أيضا فإن الماء الراجع للمبردات المائية يتم تصفيته وتنظيفه بصورة يومية أو من خلال معدات مجهزة بفلاتر خاصة لتنظيف وتنقية الماء حيث تقوم بقياس نسبة الكلور بصفة دائمة وكذلك التعادلية بغرض جعل الكلور متاحا لعملية التنظيف. عادة ما تستخدم تركيزات منخفضة (100-150 جزء من المليون) من الكلور النشط لتطهير الماء وتقليل إنتشار عوامل التحلل والفساد لفترة ما بعد الحصاد.

يمكن أيضا وفي بعض المناطق النائية إستخدام الثلج إذا ما أمكن جرشه إلى قطع صغيرة على أن تتم إضافته بسرعة كافية لإنجاز التبريد الملائم ولكن يجب التأكد من مصدر المياه المصنوع منه الثلج بحيث يكون نظيفا وباردا ومن ثم يمكن إستخدامه بصورة كافية للتبريد المبدئي أو حتى للتبريد التام.

## أزمنة التبريد المائي

يعتمد زمن التبريد على أصغر قطر للمنتج وعلى معدل التدفق وذلك للمنتجات المختلفة حيث أن سبعة أثمان الزمن التبريدي تزيد بزيادة أصغر قطر للمنتج، المنتجات التي لها قطر صغير مثل البلح يتم تبريدها في أقل من 10 دقائق في حين القاوون (الكنتالوب) ذو الحجم الكبير يستغرق حوالي ساعة ليكتمل تبريده.

يوضح جدول (2.5) مقارنة بين طرق التبريد السريع المختلفة حيث يتضح أن معدلات التبريد المائى سريعة مقارنة بالتبريد بالتفريغ وبدفع الهواء. أيضا يلاحظ إرتفاع تكاليفه الإستثمارية غير أنه من أقل الطرق التي تسبب فقد ماء المنتج. هو أيضا من أكثر الطرق إستهلاكا للطاقة حيث يمكن الحد من ذلك بشرط أن يعمل بصورة مستمرة وبأقصى سعة وأن يكون بداخل غرف مبردة أو معزول في إطار مغلق.

أيضا للتبريد المائي بعض أوجه القصور الرئيسية حيث يجب أن يكون المنتج، عبواته، مواد التغليف، والتعبئة قادرة على تحمل الماء البارد. عادة ما تعامل مواد التعبئة بمواد شمعية أو بالزيوت العضوية خصيصا لهذا الغرض. غالبا ما يتم إستخدام الصناديق البلاستيكية أو الخشبية في حال كانت عملية التبريد المائي تتم للمنتج النهائي. تعتبر العبوات المقاومة للماء غالية الثمن مقارنة بالعبوات الكرتونية الأخرى. عادة ما تستخدم العبوات الكرتونية في حال ما كانت عملية التبريد المائي سابقة لخطوة التعبئة النهائية.

يجب وكما سبق ذكره المحافظة على نظافة الماء من خلال المعاملة بالكلور (يظهر المشمش في بعض الأحيان بعض الأضرار بفعل الكلور) أو أى مواد كيمائية أخرى والتي تستخدم لتعقيم الماء. يجب مراقبة تعادلية الماء لجعل الكلور فاعل ونشط وذلك لزيادة كفاءة عملية التعقيم. أيضا فتحات صينية المرش أو الدش لابد وأن تنظف بشكل دوري لتجنب الإنسداد والذي يؤدي إلى توزيع غير متساوي لتيار الماء فوق المنتج. المنتجات المستلمة أو القادمة للمبرد ربما يتم إستبقائها في درجة حرارة الهواء الخارجي لبعض الوقت وذلك في أوقات تشغيل المبرد المائي بطاقته القصوى. يجب نقل المنتجات عقب تبريدها بسرعة لمخازن التبريد أو تشحن للأسواق وإلا ستحدث إعادة تسخين سريع لها. يمكن أن تتطلب أيضا عملية التبريد المائي إعادة تداول ومناولة لرصات الصناديق كبيرة الحجم قبل التعبئة أو التخزين.

## درجات حرارة الماء

يجب أن تظل درجة حرارة الماء ما بين 1 إلى 5°م وذلك بالنسبة للمنتجات الحساسة للبرودة والتي تبرد فقط لدرجات الحرارة الأعلى من 5°م. يمكن تبريد تلك المنتجات بالماء إلى درجة الصفر المئوي في حالة إستخدام أزمنة تبريد محدده . أوضحت الدارسات أن المنتجات الحساسة للبرودة لا تكون عرضة لأى إصابات ما لم ينخفض متوسط درجة حرارة لب الثمرة عن درجات الحرارة الحرجة والتي تكون بعدها عرضة للإصابة بأضرار البرودة.

**جدول (2.5)**: مقارنة طرق التبريد السريع.

| العامل | طريقة التبريد | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | الثلج | التبريد المائي | التفريغ | دفع الهواء | غرف التبريد |
| زمن التبريد (ساعة) | 0.1 – 0.3 | 0.75-0.3 | 0.5 -0.25 | 2.0 – 0.5 | 20 -72 |
| ملامسة الماء للمنتج | لا | نعم | نعم | نعم | لا |
| فقد المحصول للماء ( %) | 0.5 – 0 | 0.5 – 0 | 4 – 2 | 2 – 0.1 | 2 – 0.1 |
| التكاليف | منخفضة | عالية | متوسطة | منخفضة | منخفضة |
| كفاءة الطاقة | منخفضة | مرتفعة | عالية | مرتفعة | منخفضة |
| العبوات | معالجة | معالجة | معالجة | عادية | عادية |

## العبوات

يجب أن تكون العبوات مجهزة بفتحات علوية وسفلية مناسبة لتسمح بمرور ماء التبريد عبر المحصول، ويعد هذا عائق للتبريد المائي خاصة مع المنتجات المعبئة في عبوات الكرتون المضلع، يزداد الأمر صعوبة في حالة رص هذه العبوات في صورة بالتات. يتطلب الأمر أن تتواجد عبوات البالتة بحيث تتوافق الفتحات مع بعضها لتشكل مجرى يسري فيه الماء ليمر حول جميع ثمار البالتة، ذلك لأن أوراق الثمار أو أغلفة كيزان الذرة مثلا يمكن أن تعيق مرور الماء من خلال سد الفتحات سيئة التصميم مما يؤدي إلى بطء معدل التبريد.

يجب أن تكون العبوات ومواد التغليف مقاومة للماء ومثال على ذلك العبوات المصنعة من الخشب أو البلاستيك حيث تتناسب مع هذا النوع من التبريد السريع، ويمكن إستخدام عبوات الكرتون المضلع إذا ما تم معاملتها بطبقة من الشمع غير أنه وفي حالة معاملتها بالشمع فإنها تفشل أحيانا في الأحتفاظ بقوتها إذا ما طال زمن تعرضها للماء. التشميع يزيد من تكاليف العبوة وفي بعض الأحيان تتساوى هذه التكاليف مع نصف التكاليف المطلوبة لعملية التبريد. لا يمكن إعادة إستخدام هذه الصناديق المشمعة مرة أخرى.

## النظافة والإعتبارات الصحية

يجب أن تكون المياه المستخدمة خالية من الكائنات المسببة لتدهور الثمار وذلك لمنع إنتشار الأمراض ويجب أن تكون صالحة للشرب ومن منبع أو مصدر نظيف (سواء كان بئر أو مياه الإستخدام العادية) ونادرا ما تكون مياه البحيرات أو الترع نظيفة للدرجة الكافية خاصة في دول العالم الثالث، ولأن معظم المبردات تقوم بدفع الماء وإعادة إستخدامه فإن تصميم المبرد يجب أن يمنع دخول الكائنات الدقيقة التي تصاحب المنتجات وتأتي معها وذلك بهدف الحد من نشر أى عدوى. لهذا السبب يجب أن تغسل المنتجات شديدة الاتساخ غسيلا مبدئيا قبل دخولها للمبرد كما هو معمول به مع الخس في صناعة السلطات الخضراء وكذلك مع البطاطس التي تصنع منها الرقائق، في بعض الأحيان أيضاً يمكن أن تكون عملية الغسيل هذه تبريد إبتدائي للمنتج وذلك في حالة إستخدام ماء ساكن ولكن ذو درجة منخفضة وكما هو موضح في شكل (18.5). يثبت مرشح (شبكة من السلك دقيق الفتحات) أمام مضخة السحب وذلك لمنع دخول الأوراق النباتية وأى مخلفات غير مرغوب فيها ذات حجم كبير مثل ما هو موضح بشكل (18.5).

يعد الكلور مطهر جيد حيث يحتاج الماء عند درجة الصفر المئوي إلى حوالي 100 إلى 150 جزء في المليون من الكلور المتاح. يمكن أيضا إستخدام الأوزون في بعض العمليات التجارية كعامل مطهر للمبردات المائية. عادة ما يتم تجديد المياه المبرده يومياً ما لم تكن شديدة النظافة حيث توجد عدة نظم لإعادة الإستفادة من المياه المبرده. يمكن إستخدامها لتبريد المكثفات التبخيرية في نظم التبريد الصناعي بالنشادر أو في الري ما لم يتعارض هذا مع القوانين الخاصة بالتلوث البيئي ويمكن أيضا التخلص منها في مياه الصرف العادية.

يجب أن يكون المبرد سهل التنظيف وأن تسهل أيضا عملية الوصول لصواني توزيع الماء بغرض تنظيفها حيث يجب تصنيعها من مواد مطابقة والتي عادة ما تكون من الأستنالس ستيل، في حالة وجود غطاء عازل لها فيجب أن يكون سهل الفك والإزالة حتى يتمكن فني التشغيل والصيانة من فحصها للتأكيد من عدم إنسداد فتحات دفع الماء وكذلك يجب أن يتاح الوصول إلى خزان المياه وتسهيل عملية تنظيفه حتى يمكن إزالة المواد المترسبة والأحجار الصغيرة أثناء عملية تغيير الماء، يجب أن تكون مصفاة المياه كبيرة وذلك لسرعة صرف المياه وأن تكون ذات ميول محددة وفي مكان منخفض بحيث تصرف جميع المياه المتراكمة بها. تستخدم المرشحات ذات شبكة سلك ذاتية التنظيف لغالبية المبردات بإستخدام الماء. يمكن لجميع مواسير دفع وسريان الماء أن تكون بلاستيكية.

الكلور يسبب تآكل للمعادن الشائعة الإستخدام، ولذلك يجب أن تصنع الأجزاء التي تلامس الماء من الخشب أو البلاستيك لتقاوم التآكل الذي يسببه الكلور، ويمكن أيضاً إستخدام الاستناليس ستيل كما سبق ذكره غير أنه مكلف وغالي الثمن وفي حالة إستخدام الحديد العادي فيجب أن يدهن لكي يكتسب بعض الحماية على أن الدهان يحتاج لعملية صيانة منتظمة.

كما سبق إيضاحه تحتاج مياه المبرد من 100 إلى 150 جزء في المليون من الكلور المتاح وذلك لمنع التحلل. يعتبر غاز الكلور الأرخص

**شكل (18.5)**: الغسيل والتبريد المبدئي للبصل الأخضر بالأردن.

ثمناً وعادة ما يستخدم في العمليات الكبيرة حيث تتم عملية القياس والتحكم إلكترونياً للكلور وللحموضة (pH). سائل الكلور الذي يستخدم في المنازل (لتبييض الملابس) عادة ما يحتوي على 5.25 % في حين يبلغ التركيز في الأنواع التجارية من 9.5 % إلى 15 %. بإضافة 2.7 لتر من كلور التبييض السائل بتركيز 5.25 % إلى حوالي 1000 لتر ماء خالي من الكلور نحصل على 100 جزء من المليون.

يباع الكلور من نوع Calcium hypochlorite في صورة مسحوق أو حبوب ويبلغ تركيز المكونات النشطة 65 %. بإضافة 210 جم إلى 1000 لتر ماء نحصل على محلول 1000 جزء في المليون HOCI, المسحوق لايذوب بسرعة في الماء البارد حيث تؤدي الجزيئات غير الذائبة لإزالة لون المحصول وإختراق الجلد الخارجي لذا يجب إذابة المسحوق مسبقاً في خزان مياه أخر قبل إضافته لمياه المبرد. تضاف الحبوب مباشرة إلى خزان مياه المبرد لتذوب ببطء في حالة إستعمالها بطريقة مناسبة لتمثل مصدر دائم للكلور.

التركيز الزائد للصوديوم يسبب إصابات لبعض الفاكهة خاصة التفاح ومن ثم فإن 100 جزء في المليون من محلول HOCI المتكون من Sodium hypochlorite يبلغ تركيز الصوديوم فيه 30 جزء في المليون. كلما أضيف Sodium hypochlorite لتعويض تركيز أيونات hypochlorite كلما زاد الصوديوم المضاف. إذا زاد مستوى الصوديوم عن 100جزء في المليون فإنه يسبب خسائر لبعض أنواع التفاح الحساسة ولتفادي ذلك يجب تغيير الماء بصورة دورية لمنع تراكم الصوديوم.

يجب دائماً أن يحافظ على حموضة الماء (pH) لتكون من 6.5 إلى 7.5، مستويات الحموضة الأدنى من هذا تسبب تآكل للمعدات ولتصاعد غاز الكلور السام. في حالة زيادة الحموضة عن 7.5 فإن الكلور غالباً ما يكون على صورة أيونات hypochlorite وتكون غير فعالة في قتل الميكروبات. يتم ضبط مستوى الكلور بأنظمة إلكترونية والتي تتحكم دائماً في حموضة الماء ويمكن إستخدام أوراق إختبار الألوان والعدادات الإليكترونية لقياس الحموضة في تلك العمليات التي يكون التحكم فيها يدوياً. يمكن أيضا قياس الكلور المتاح من خلال أجهزة قياس كيميائيه.

حمض Muratic وهو الأسم الشائع لحمض Hydrochloric عادة ما يستخدم لخفض الحموضة (pH) في حين يضاف هيدروكسيد الصوديوم لزيادة الحموضة. يجب أن تستخدم كل هذه المواد وفقاً للتعليمات الموصى بها. يلاحظ أن المواد العضوية الموجودة في الماء تعمل على دمج جزيئات الكلور وتجميعها مما يجعلها غير فعالة في عملية التطهير.

توجد أجهزة لقياس كمية الكلور الكلية المتاحة وكذلك المتحدة مع المواد العضوية حيث تستخدم فقط في حالة النظافة الشديدة للماء، لبعض هذه المعدات حدود لا تستطيع أن تقيس الكلور المتاح خارجها. التحكم الاليكتروني يثبت مستوى الكلور والحموضة في الماء ليقترب من الحد الأدنى والموصى به وهو 100 جزء في المليون. التحكم اليدوي يؤدي إلى تغيير التركيز أثناء التشغيل.

## التبريد بالثلج

بعض المنتجات يتم تبريدها من خلال ملئ عبواتها بالثلج المجروش حيث في البداية وبسبب التلامس المباشر بين المنتج والثلج المجروش يتم التبريد سريعا ولكن بعد مضي الوقت يذوب الثلج المجروش ويبطئ معدل التبريد بصورة كبيرة. التزويد الدائم بالثلج يحافظ على نسبة عالية من الرطوبة النسبية حول المنتج. الثلج السائل وهو ملاط الثلج والماء (شكل 19.5، 20.5). يتم توزيع الثلج على صندوق المنتج بطريقة متجانسة ويحقق تلامس أفضل مع المنتج. يمكن إنتاج الثلج أثناء

**شكل (19.5)**: الثلج السائل.

ساعات إنخفاض الطلب على الكهرباء حيث تكون أسعار الطاقة رخيصة ومن ثم يخزن للإستعمال أثناء النهار.

**شكل (20.5)**: عبوات ثلج سائل جاهزة للإستخدام.

يتطلب التبريد بالثلج عبوات غالية الثمن ومقاومة للماء حيث يجب أن تكون العبوات محكمة الغلق وبها فتحات كافية لتصريف الماء الناتج عن ذوبان أو إنصهار الثلج. في العمليات الصغيرة يتم تعبئة الصناديق أو العبوات يدوياً في حين للإنتاجيات الكبيرة تكون هناك ماكينات لإنتاج الثلج السائل حيث تتم تغذية بالتات أو طبليات المنتج به بصورة آلية. تلك العملية تتطلب فقط بعض الدقائق وتستخدم للخضروات التي تعبأ في الحقل خاصة البروكلي. يجب وضع العبوات التي يتم تبريدها بتلك الطريقة فوراً في مخازن التبريد بعد ملئها بالثلج وذلك للتقليل من ذوبان أو إنصهار الثلج.

يجب أن يتحمل المنتج ساعات تعرضه الطويلة للأجواء الرطبة أو المبتلة عند درجة حرارة منخفضة. بعض المنتجات ذات الكثافة المنخفضة توجد بينها مسافات بينية كبيرة لوضع الثلج داخل عبواتها والثلج الذي لا يذوب أثناء عملية التبريد يبقى حتى بعد عملية النقل. هذا الحمل الزائد من الثلج يمكن أن يحفظ المنتج بارداً حتى وفي حالة كسر سلسلة التبريد. يعتبر هذا إستخدام كفء للثلج، وزن الثلج يمكن أن يزيد من وزن الحمولة/المنتج، وبالتالي وفي بعض الأحيان يحد من الأوزان الكلية التي يمكن نقلها حيث يبلغ وزن الثلج المطلوب للتبريد حوالي من 20 إلى 30 % من وزن المنتج غير أن الثلج السائل المضاف عادة ما يكون بنفس وزن المنتج. أيضاً أثناء عملية النقل للمنتجات المختلطة يسبب الماء الناتج من ذوبان الثلج أضرار لصناديق المنتجات المجاورة والتي لا تكون مقاومة للماء ويمكن أن تبتل جدران وأرضية المقطورات المبردة. عادة ما يتم تبريد الزهور بالهواء الجبري المدفوع ولكن إذا ما تم تداول الصناديق في عربات وأجواء غير مبردة فيمكن أن تضاف أكياس من الثلج للصندوق لمنع تسخينها. هذا النظام يسمح بإضافة كميات محدودة من الثلج حيث يتم إحتواء الماء المذاب لمنع حدوث أضرار للمنتج وللصناديق أو العبوات الكرتونية.

## التبريد بالتفريغ

يحدث التبريد بالتفريغ من خلال تبخير الماء من المنتج عند ضغط جوي منخفض جداً. المنتجات التي تفقد أو ينطلق منها الماء بسهولة ربما يتم تبريدها من 20 إلى 30 دقيقة. الخضروات الورقية الخضراء التي لها نسبة سطح إلى وزن كبيرة (خاصة الخس من نوع Iceberg) والتي يفقد منها الماء بسهولة تعتبر أفضل المنتجات ملائمة لهذه الطريقة، وفي بعض الأحيان تستخدم هذه الطريقة لتبريد الكرفس، الفاصوليا الخضراء، الجذر، والفلفل الرومي، إلا أن وقت التبريد يكون أطول كثيرا. يمكن أيضا تبريد حتى العبوات المغلفة بالأفلام داخل الصناديق بسرعة من خلال التبريد بالتفريغ بشرط أن تسمح تلك الأفلام بسهولة وحركة بخار الماء.

فقد الرطوبة وبالتالي إنجاز أو تحقيق عملية التبريد تتم من خلال ضخ الهواء لخارج غرفة كبيرة من الفولاذ والتي تحتوي على المنتج وبالتالي ينخفض الضغط الجوي حول المنتج ويؤدي هذا لإنخفاض في درجة غليان الماء بداخل المنتج، يغلي الماء وتتم إزالة الحرارة من المنتج بسرعة. تتم إزالة بخار الماء الناتج من خلال تكثيفه على ملفات تبريد توضع بين فتحات خروج بخار الماء من خلال مضخة التفريغ. يسبب التبريد بالتفريغ حوالي 1-1.5 % فقد من وزن المنتج وذلك مقابل كل 6 °م من التبريد. هذا الفقد غير مرغوب فيه لمنتجات مثل البصل الأخضر، الكرفس، وبعض أوراق الخس. بعض المبردات مجهزة برشاشات ماء والتي تضيف ماء لسطح المنتج أثناء عملية التبريد، ومثل ماء المبردات المائية يجب تطهير الماء إذا ما تم تدويره.

يمكن أيضاً رش الماء على المنتج قبل دخوله غرف التبريد بالتفريغ. التفريغ السريع الذي يحدث عند نهاية العملية يدفع الماء السطحي داخل بعض الخضروات ليكون مظهرها وكأنها نقعت في الماء.

مبرد (أنبوب) التفريغ التقليدي والذي يسمى في بعض الأحيان Retort يسع حتى 800 صندوق من خس الأيسبرج (20 بالتة أو طبلية). بعض مبردات التفريغ الصغيرة تسع فقط طبلية واحدة. غالبية معدات التبريد بالتفريغ متنقلة وتستخدم في مناطق الإنتاج خلال العام وهذا يسمح بإستهلاك المعدات على مواسم تشغيل أطول ويحسن من إقتصاديات وجدوى المبرد. غالبية المبردات اليوم تعمل بنظم التبريد الميكانيكية ومضخات التفريغ.

## تبريد ما قبل التعبئة

مشاكل التبريد الناتجة من تجميع العبوات في صورة بالتات أو الناتجة عن مواد التبطين الداخلية يمكن تجنبها عن طريق تبريد المنتج قبل التعبئة غير أن تلك الطريقة تزيد من تكلفة التبريد وذلك إذا ما تمت قبل عملية الفرز. إذا ما تم فرز 20 % بعد التبريد فهذا يعني زيادة تكلفة التبريد بـ 25 % أما إذا ما تم فرز 50 % (على سبيل المثال توجيه الفراولة للتصنيع) فإن تكلفة التبريد لطن المنتج المعبأ تتضاعف. من العيوب الأخرى للتبريد قبل التعبئة أن الثمار المبردة تكون أكثر عرضه للإصابات الميكانيكية من الثمار الساخنة وذلك أثناء مرحلة التعبئة. يمكن تجنب تلك المشاكل للقاوون والعنب من خلال الفرز قبل عملية التبريد المائي.

يحدث بعض «إعادة تسخين» عندما تتم تعبئة المنتج بعد تبريده، تيارات الجو الخارجي المتوسطة يمكنها إعادة تسخين الثمار الغير معبأة لقرب درجة حرارة الجو الخارجي في ظرف 30 دقيقة، بعض معبئي الثمار يتفادون هذا من خلال التبريد الجزئي للمنتجات قبل التعبئة ثم تستكمل عملية التبريد بعد التعبأة.

أحد المعبئين قام بحل تلك المشكلة بأسلوب أخر. حينما تصل الفاكهة من الحقل حيث يتم تبريدها مبدئياً بدفع الهواء الجبري في صناديق كبيرة الحجم، ثم توضع الصناديق في غرفة التبريد السريع بدفع الهواء الجبري. الفاكهة الباردة تتحرك من غرفة التبريد لمنطقة تعبئة قريبة حيث يتم فرزها وتحجيمها، ومن ثم تعبئتها في الكراتين في ظرف 3-4 دقائق. يتم نقل العبوات إلى مخازن التبريد حيث يتم تشكيل البالتات في حدود 6-7 دقائق من مغادرتها لغرفة التبريد السريع. هذا النظام يحد من إعادة تسخين المنتجات حيث يجب إستكمال عملية تبريده.

## إختيار طريقة التبريد

ربما تفرض الخواص الطبيعية المميزة للمنتج طريقة تبريد محددة ومثال على ذلك الفراولة والعنب واللذان لا يستطيعا تحمل الماء بسبب الأمراض والأضرار المحتملة، ومن ثم لا يمكن تبريدها مائياً أو من خلال التعبئة الثلجية، وحيث أنها تتطلب تبريدا سريعا بعد الحصاد فإن التبريد في مخازن التبريد/ غرف التبريد لا يعد مناسباً. التبريد بالتفريغ يعد سريعاً لكنه يؤدي لفقد ملحوظ في رطوبة الثمار، وبناء عليه فإن طريقة التبريد المبدئي بدفع الهواء الجبري تعد الأنسب للفراولة والعنب. بعض الفاكهة من المتساقطة الأوراق والخضروات تناسبها عدة طرق تبريد. جدول (3.5) يوضح طرق التبريد الشائعة المستخدمة مع أنواع مختلفة من االمنتجات.

إذا ما كانت محطة التبريد تستخدم لعدة منتجات فربما يمكن أو لا يمكن إستخدام نفس الطريقة لكل المنتجات، جدول (3.5) يوضح أن التبريد بالتفريغ والتعبئة بالتثليج والتبريد من خلال غرف التبريد تستخدم فقط لمنتجات قليلة. التبريد المائي يستخدم لمدى أوسع من المنتجات والتبريد السريع بدفع الهواء الجبري يناسب غالبية المنتجات وبالتالي يعد مثالياً لتبريد أنواع مختلفة لهذا فإن الشائع هو التوصية بالتبريد بدفع الهواء الجبري. غرف التبريد ربما تناسب العمليات صغيرة النطاق والتي عادة ما تتداول منتجات متعددة وربما تتغير تلك المنتجات بتغير السوق عام بعد عام. في بعض الأحيان يكون هناك خليط من المنتجات والذي يتطلب أكثر من طريقة أو نظام تبريد.

## الخلاصة

التبريد بمخازن التبريد العادية غير مكلف ويناسب بعض المنتجات حيث تعتبر ميزته الرئيسية هو التخزين بنفس الغرفة ومن ثم تقليل خطوات تداول المنتج غير أن بطئ معدلات التبريد وما ينتج عنها من فقد الماء يعتبر العيب الرئيسي. التبريد السريع بدفع الهواء سواء الجاف أو الرطب يقدم الكثير من المزايا غير أن النظام الجاف هو الأكثر إنتشارا. النظام الرطب يحافظ على نسب رطوبة عالية لكنه محدود في خفض الحرارة مقارنة بالنظام الجاف. كلا النظامين يمكن أن يعمل بنظم التبريد التجارية أو الصناعية. تعتبر طرق التبريد السريع بإستخدام الماء من الطرق الملائمة للعديد من المنتجات حيث يكون معدل إنتقال الحرارة كبير ومن ثم يكون الخفض في درجة الحرارة سريع. يوجد نوعان رئيسيان للمبردات المائية وهما بالرش أو بالغمر حيث يمكن لكل منها أن يكون بنظام الدفعات أو من النوع المستمر. توجد العديد من الإحتياطات الواجب مراعتها خاصة فيما يتعلق بنظافة المياه المستخدمة والتي عادة ما يتم تدويرها وتنقيتها والحفاظ عليها في حدود درجة حرارة محددة. الطاقة التبريدية لتلك النوعية من المبردات يمكن حسابها بنفس الطرق السابقة لكن يراعى وضعها في غرف معزولة للحد من فقد الحرارة. من أهم مميزات التبريد المائي هو قلة الفقد في الرطوبة التي يمكن أن يتعرض لها المنتج. من طرق التبريد الأخرى هو إستخدام الثلج السائل أو المجروش حيث يجب أن تكون العبوات المستخدمة من النوع المشمع أو المعالج لمنع إمتصاص الرطوبة. التبريد بالتفريغ يلائم المنتجات الورقية حيث يمكن أن يكون مصحوبا بترذيذ الماء للحد من فقد الرطوبة. لإختيار طريقة التبريد الملائمة يجب مراعاة الخواص الطبيعية للمنتج بالإضافة للتكلفة الإقتصادية.

**جدول (3.5)**: طرق التبريد الموصى بها للخضروات والفاكهة المختلفة (Thompson, 2002).

| نوع المنتج | حجم العملية | | ملاحظات |
|---|---|---|---|
| الفاكهة | كبيرة | صغيرة | |
| الموالح | غرف تبريد، دفع الهواء | غرف تبريد | |
| الفاكهة ذات النواة الحجرية | تبريد مائي، دفع الهواء | دفع الهواء | لايمكن تبريد المشمش مائيا |
| التفاحيات | تبريد مائي، دفع الهواء، غرف تبريد | غرف تبريد | |
| تحت الإستوائية (subtropical) | تبريد مائي، دفع الهواء، غرف تبريد | دفع الهواء | |
| الإستوائية | دفع الهواء، غرف تبريد | دفع الهواء | |
| التوتيات | دفع الهواء | دفع الهواء | |
| الكيوي | دفع الهواء | دفع الهواء | |
| العنب | دفع الهواء | دفع الهواء | |
| **الخضروات الورقية** | | | |
| الكرنب | التفريغ، دفع الهواء | دفع الهواء | |
| الخص الروماني | التفريغ | دفع الهواء | |
| Kale, collards | التفريغ، غرف التبريد، التفريغ بالترذيذ | دفع الهواء | |
| الخس الورقي | التفريغ، غرف التبريد، التفريغ بالترذيذ | دفع الهواء | |
| **الدرنيات** | | | |
| ذات الرأس | التبريد المائي، التعبئة الثلجية، دفع الهواء | التبريد المائي، دفع الهواء | الجزر لا يمكن تبريدة بالتفريغ |
| بدون رأس | التبريد المائي، التعبئة الثلجية | التبريد المائي، التعبئة الثلجية، دفع الهواء | |
| البطاطس | غرف التبريد، دفع الهواء التبخيري | | بالتبريد التبخيري يجب ضبط المحطة للعلاج التجفيفي |
| البطاطا | التبريد المائي | غرف التبريد | |
| **الخضروات الزهرية والساقية** | | | |
| الخرشوف | التبريد المائي، التعبئة الثلجية | دفع الهواء، التعبئة الثلجية | |
| الأسبراجس | التبريد المائي | التبريد المائي | |
| البروكيلي | دفع الهواء، التبريد المائي، التعبئة الثلجية | دفع الهواء، التعبئة الثلجية | |
| القرنبيط | دفع الهواء، بالتفريغ | دفع الهواء | |
| البقدونس | التبريد المائي، التفريغ المرذذ، بالتفريغ | التبريد المائي، دفع الهواء | |
| البصل الأخضر | بالتعبئة الثلجية، بالتبريد المائي، بالتفريغ المرذذ | التعبئة الثلجية | |
| عش الغراب | دفع الهواء، التفريغ | دفع الهواء | |

| الفاصوليا | التبريد المائي، دفع الهواء | دفع الهواء | |
|---|---|---|---|
| البسلة | دفع الهواء، التعبئة الثلجية، التفريغ | دفع الهواء، التعبئة الثلجية | |
| البصل الجاف | غرف التبريد | غرف التبريد، دفع الهواء | يجب تعديلها للتجفيف العلاجي |
| الثوم | غرف التبريد | | |
| **الخضروات الثمرية** | | | |
| الخيار والباذنجان | غرف التبريد، دفع الهواء، دفع الهواء التبخيري | دفع الهواء، دفع الهواء التبخيري | حساسة لأمراض البرودة لكن عند درجات حرارة مختلفة |
| القاوون | التبريد المائي، دفع الهواء، التعبئة الثلجية | دفع الهواء، دفع الهواء التبخيري | |
| البطيخ | دفع الهواء، التبريد المائي | بدفع الهواء، غرف التبريد | |
| الفلفل | غرف التبريد، دفع الهواء، دفع الهواء التبخيري | دفع الهواء، دفع الهواء التبخيري | |
| الكوسة والباميا | غرف التبريد، دفع الهواء، دفع الهواء التبخيري | دفع الهواء،دفع الهواء التبخيري | |
| الذرة السكرية | التبريد المائي، التفريغ، التعبئة الثلجية | التبريد المائي، دفع الهواء، التعبئة الثلجية | |
| الطماطم | غرف التبريد، دفع الهواء، دفع الهواء التبخيري | | |
| الكوسة الشتوية | غرف التبريد | غرف التبريد | |
| **التوابل الطازجة** | | | |
| الغير معبأة | التبريد المائي، دفع الهواء | دفع الهواء، غرف التبريد | يمكن حدوث ضرر لها بفعل الماء المدفوع في المبردات المائية |
| المعبأة | دفع الهواء | | |
| **النباتات العطرية** | | | |
| زهور القطف | دفع الهواء، غرف التبريد | دفع الهواء | في حال تعبئتها يستخدم فقط الهواء المدفوع |
| زهور الفازات | غرف التبريد | غرف التبريد | |

## الفصل السادس

# الجو الهوائي المعدل والمتحكم فيه

### الملخص

من التقنيات المستخدمة لإطالة فترة تداول العديد من الحاصلات البستانية هي تقنية الجو الهوائي المتحكم فيه أو المعدل حيث تصاحب تلك العملية عملية التبريد وتستخدم للخزن بعيد المدى وأثناء النقل البحري وفي عملية التعبئة. في هذا الفصل سيتم مناقشة الخلفية العملية لتلك التقنية مع مميزاتها وعيوبها التي يجب تلافيها. أيضا سيتم العرض التفصيلي لمكونات النظام وطريقة مبسطة لتوفير تلك التقنية.

### مقدمة

مصطلح الجو الهوائي المعدل أو المتحكم فيه يعني إما إزالة أو إضافة غازات محددة بنسب معينة تتباين حسب نوع المنتج بما يؤدي لخلق تركيب غازي حول المنتج (المخزن أو المنقول على درجة حرارة منخفضة) يختلف عن التركيب الغازي للجو العادي. التركيب الغازي للجو العادي هو حوالي 78 % نيتروجين، 21 % أكسجين، و0.03 % ثاني أكسيد الكربون بالإضافة لكميات قليلة من غازات أخرى. تتم عملية التعديل أو التحكم في الجو الهوائي من خلال خفض نسبة الأكسجين أو زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون أو كلاهما معا بتقنيات وأجهزة وطرق مختلفة. تتم هذه العملية إما في غرف التخزين المبردة، داخل العبوات البلاستيكية لبالتات المنتج المغلفة داخل حاويات النقل المبردة، أو في عبوات عرض المنتج النهائية.

تستخدم مخازن الجو الهوائي المتحكم فيه الأكسجين وثاني أكسيد الكربون بتركيزات تبلغ حوالي 1 إلى 5 % لكل غاز وذلك في غالبية التطبيقات. المستويات المنخفضه من الأكسجين والعاليه من ثاني أكسيد الكربون تبطئ من عملية النضج وتوقف تطور بعض إضطرابات التخزين مثل ظاهرة تقشير التفاح وتبطئ كذلك من نمو كائنات التحلل أو الفساد وبعض الحشرات. كل هذه التأثيرات تزيد العمر التخزيني للمنتجات الطازجة بالمقارنة مع هواء الخزن المبرد الغير معدل.

في الجو الهوائي المعدل يتم إعطاء شحنة خليط الغازات للمنتج داخل الحيز المتواجدة بها حيث تتدهور وتتلاشى تلك الشحنة بعد فترة معينة ويعتمد ذلك على خصائص النفاذيه لأغلفة المنتج وخصائص التنفس في الثمار المختلفة. في الهواء الجوي المتحكم فيه يكون هناك تحكم مستمر ومن ثم يتم الحفاظ على نسبة خليط الهواء المناسب طول الوقت. غالبا ما تطبق تقنية الجو الهوائي المتحكم به فقط في مخازن التبريد.

من الهام جدا التأكيد على أن إستخدام الهواء الجوي المعدل أو المتحكم فيه يتم في آن واحد مع الخزن المبرد ولا يعد بديلا عنه حيث أن معدل تنفس الحاصلات البستانية يتوقف على درجة الحرارة المتواجد بها المنتج فكلما إنخفضت تلك الدرجة إلي حد معين كلما قل معدل تنفس المنتج ومن ثم ينخفض إستهلاكه للأكسجين و إنتاجه لثاني أكسيد الكربون.

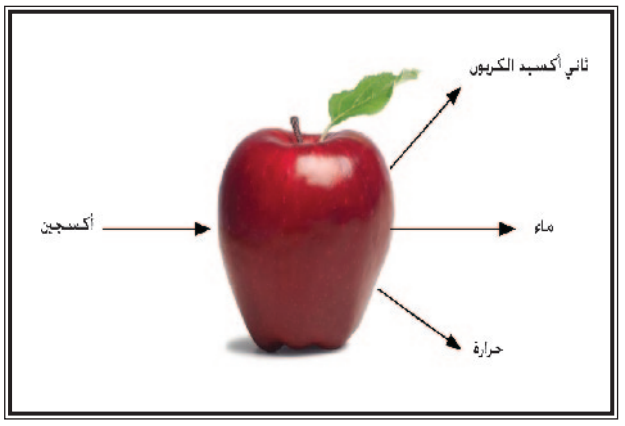
يتم إستخدام الجو الهوائي المعدل أو المتحكم فيه في صور متعددة فيستخدم أثناء النقل البحري حيث تعد تلك فترات تخزين مؤقتة، يستخدم أيضا لفترات التخزين طويل المدى للحاصلات البستانية ذات العائد الإقتصادي المربح مثل التفاح والكمثرى حيث بلغت كميات ثمار التفاح المخزنة بتلك الطريقة 15 مليون طن في العالم. تتم تلك العملية أيضا لسلاطة الخضروات والفاكهة (Fresh-cut) في عبوات بلاستيكية. في بعض الأحيان تعامل بعض المنتجات بتركيزات عالية من ثاني أكسيد الكربون قبل تخزينها في الجو الهوائي المعدل وقد يضاف أول أكسيد الكربون إلي الجو الهوائي المعدل وذلك لغرض مقاومة الأمراض وتقليل التلون غير المرغوب في الثمار.

## مميزات تقنية الجو الهوائي المعدل أو المتحكم فيه

المعادلة العامة لتنفس المنتجات الحيوية توضح كما في شكل (1.6):

جلوكوز + أكسجين ← ثاني أكسيد الكربون + ماء + طاقة

من تلك العلاقة يتضح أن معدل التنفس قد يبطئ بقلة الأكسجين المتاح أو من خلال رفع تركيز ثاني أكسيد الكربون في حيز التخزين. إستخدام هذا المفهوم بالأسلوب الملائم يساهم في حفظ جودة المنتج وإطالة عمره التسويقي. الجوالهوائي المعدل أو المتحكم فيه يؤدي إلي العديد من المنافع ومنها:




**شكل (1.6)**: تنفس المنتجات النباتية وبعض عملياتها الحيوية.

1- التقليل من الفاقد عن طريق تأخير النضج وتأجيل إظهار العلامات الغير مرغوبة، يحد هذا من إستهلاك الطاقة اللازمة لتنفس المنتج وبالتالي يحد من إستهلاك مخزونه السكري ويقلل من التغيرات الفسيولوجية والبيوكيمائية المصاحبة لتلك العملية.

2- الحفاظ على صلابة المنتج وقوامة.

3- الحد من بعض أمراض البرودة والتقليل من حساسية بعض الحاصلات للإيثيلين وهو الهرمون المسؤول عن عملية الإنضاج.

4- يعد أيضا هذا المفهوم بديلا عن إستخدام بروميد الميثيل وهي المادة الكيمائية ذات التأثير القاتل للحشرات الضارة المصاحبة للعديد من المنتجات الزراعية الشائع الإستخدام في مصانع التمور.

الجو الهوائي المتحكم فيه يعتبر فاعلا جدا لتخزين بعض أصناف التفاح والكمثري فيما يستخدم الجو الهوائي المعدل أثناء عمليات النقل للحاصلات البستانية مثل إستخدام تركيزات عالية من ثاني أكسيد الكربون للحد من نشاط الفطريات أثناء نقل الفراولة. يوجد في الوطن العربي خاصة المملكة العربية السعودية والأردن بعض مخازن التبريد المجهزة بتلك التقنية لكنها فقط لتزويد التفاح بنفس البيئة أثناء الخزن المبرد. أيضا توجد بمصر بعض مخازن التبريد المخصصة لبعض أنواع الفاكهة المستوردة وخاصة الكيوي. كما سيتم إيضاحه لاحقا في الفصل الخاص بالتقنيات المطبقة للتمور فقد أستخدم نفس المفهوم كبديل لتعقيم التمور ببروميد الميثيل غير أن الكثير من المشاكل الفنية شكلت عقبة للوصول للنتائج المرغوبة ومنها إحكام الغلق للحيز المبرد. توجد في بعض الجامعات السعودية معامل مجهزة بالعديد من غرف الجو الهوائي المعدل والذي تم تطبيقه لزيادة العمر التسويقي لثمار البرحي حيث أمكن تخزينه لمدة تجاوزت الستة أشهر .

## عيوب تقنية الجو الهوائي المعدل أو المتحكم فيه

هناك بعض التأثيرات المحتمل حدوثها في حالة عدم ضبط النسب المثاليه لمكونات الجو الهوائي المعدل، حتى وفي حالة التقيد بتلك النسب فإنه ربما لا يناسب مقاومة بعض الأمراض ومن ثم فقد لا يتحمله المحصول ويؤدي إلي فقد جودته وتدهور حالته. أيضا فقد يؤدي هذا الجو الهوائي المعدل إلى تنشيط بعض الأضرار الفسيولوجيه والتي تؤدي لإنبعاث بعض الروائح الغير مرغوبه، وقد يُنشّط عملية التزريع للمحاصيل الجذرية أو الدرنية. وكما هو حادث مع الخضروات والفاكهة فإن الجو الهوائي المعدل لم يتم تطبيقه على نطاق واسع مع المحاصيل الطبية والعطرية ولم يتم حتى تأثيث أى قاعدة علمية خاصة بمتطلبات تلك التقنية لأنواع هامة من الحاصلات البستانية المختلفة ومن ثم يمكن إجمال الأسباب التي حدت من أسباب إنتشار هذه التقنية على نطاق تجاري واسع وخاصة في الوطن العربي فيما يلي:

- قلة استخدامات سلسلة التبريد التي تعتبر الأساس في استخدامات هذه التقنية.

- يتطلب الأمر لضمان نجاح التقنية الحفاظ على نسب الجو الهوائي المعدل متحكم بها لفترات زمنية تختلف بإختلاف مدة الحفظ المطلوبة، أى تغير في تلك النسبة حتى ولو كان ضئيل يؤدي لإختلافات ربما تكون غير مقبولة في الجودة.

- تطبيق هذه التقنية يكون مفيدا جدا بالنسبة للمحاصيل القصيرة في موسم حصادها وسريعة العطب فحفظها من خلال هذه التقنية يجعلها متاحة لفترات زمنية أطول.

**شكل (2.6)**: أشكال مختلفة لعبوات يمكن استخدامها في الجو الهوائي المعدل.

- أهمية ووضوح العائد المادي للإستثمارات الموجهه لهذه التقنية في مجال التخزين والتي لا تكون كذلك إلا لمحاصيل بستانية محدودة يتطلب المستهلك توفرها في غير الموسم مثل الكيوي والتفاح والكمثرى وتلك الأنواع تنتج في الوطن العربي على نطاق محدود.

- في بعض الأحيان تكون تكلفة إستيراد بعض المحاصيل من الخارج أجدى إقتصاديا من تطبيق تلك التقنية محليا.

إستخدام مواد تغليف وتعبئة الجو الهوائي المعدل (Modified Atmosphere Packaging, MAP) للمنتجات تبدو أكثر جاذبية من الناحية التجارية غير أنها لاقت إنتشارا محدودا وذلك بسبب عدم إمكانية الوفاء بمتطلبات الحفاظ عليها أثناء مراحل التداول في فترة ما بعد الحصاد (شكل 2.6). ظهور العديد من أفلام العبوات البلاستيكية الحديثة التي تتواجد في السوق حديثا والتي لها خصائص نفاذية ممتازة ربما تؤدي لتطور تلك العبوات.

## طرق تطبيق تقنية الجو الهوائي المعدل

التطبيق الأولي لمفهوم الجو الهوائي المعدل تم فيه إستخدام ثاني أكسيد الكربون الناتج من المنتج نفسه من خلال عملية التنفس والذي كان يسمح له بالتراكم عبر الزمن ومن ثم تكون الزيادة في تركيز ثاني أكسيد الكربون مساوية للإنخفاض في نسبة الأكسجين، خلال تلك العملية كان يحافظ على نسبة ثاني أكسيد الكربون لتكون 5-10 % في حين كان تركيز الأكسجين 11-16 %. كان الارتفاع في تركيز ثاني أكسيد الكربون هو المسئول عن زيادة العمر التخزيني للمنتج، بالتهوية المنتظمة لتلك المخازن تم الحفاظ على المستويات المطلوبة لثاني أكسيد الكربون. للحفاظ على تركيزات منخفضة من الأكسجين يتطلب الأمر بناء مخازن تبريد محكمة الغلق ومزودة بأنظمة إزالة ثاني أكسيد الكربون للتخلص من الكميات الزائده منه ومن ثم تم تطوير مخازن التبريد الخاصة بتقنية الجو الهوائي المعدل وأيضا تم تطوير المولدات التي أدت لزيادة إتاحيه الجو الهوائي المعدل للتطبيق التجاري. تقوم تلك المولدات بحرق وقود مثل البروبان بغرض تكوين النيتروجين وإستخدامه لخفض الأكسجين بسرعة عالية في مخازن التبريد حيث أتاحت تلك المولدات إستخدام الجو الهوائي المتحكم فيه في مخازن التبريد. كنتيجة لهذه الجهود أمكن إنشاء مخازن التبريد محكمة الغلق بأفضل التوليفات المطلوبة للجو الهوائي المتحكم فيه للحفاظ على المنتج وهي 2-5 % لثاني أكسيد الكربون و 2-3 % للأكسجين. يجب دائما الحفاظ على مستويات تركيز الأكسجين بغرض منع عمليات التنفس اللاهوائي أو عمليات التخمر الشائع حدوثها إن زادت نسبة ثاني أكسيد الكربون كثيرا أو قلت نسبة الأكسجين كثيرا.

## طرق التحكم من خلال إضافة النيتروجين وثاني أكسيد الكربون

### أولا: التحكم في الأكسجين

يتم ذلك من خلال تقليب الهواء في مخازن التبريد أو حاويات النقل من خلال مراوح مصممة بسعات معينة حيث يتم نقل الهواء إلى مولد تتم فيه عملية المعالجة ومن ثم يدفع الهواء مرة أخرى إلى غرفة التخزين.

**شكل (3.6)**: بعض المولدات المستخدمة مع تقنية الجو الهوائي المعدل أو المتحكم فيه.

توجد العديد من الوسائل التي يمكن من خلالها توليد الهواء ذو المحتوى المنخفض من الأكسجين والذي يتوافق مع أحجام متباينة من غرف التخزين (شكل 3.6)، من تلك الطرق تكسير غاز النشادر إلي هيدروجين ونيتروجين حيث يتفاعل الهيدروجين مع الأكسجين ليتكون الماء الذي يتكاثف بدوره ليحل النيتروجين محل الأكسجين في غرفة التخزين. من الطرق الأخرى الشائعة أيضا إستخدام مولدات النيتروجين التي تقوم بفصل النيتروجين من الهواء الجوي العادي وعزله عن بقية المكونات ومن ثم دفعه لحيز التخزين ليحل محل الأكسجين لتعديل خلطة هواء هذا النظام وهو الشائع حاليا.

### ثانيا: التحكم في ثاني أكسيد الكربون

تتم عادة إضافة ثاني أكسيد الكربون من خلال الأسطوانات الغازية المجهزة لهذا الغرض وقد يستخدم الثلج الجاف كمصدر لثاني أكسيد الكربون أثناء عمليات النقل. للتخلص من ثاني أكسيد الكربون يستخدم أما هيدروكسيد الصوديوم، الماء، الفحم النباتي أو أنواع خاصة من المرشحات غير أن أكثر هذه الطرق إنتشارا هو إستخدام هيدروكسيد الكالسيوم (الجير الحى) وقد يتم وضع كمية من الجير داخل حيز التبريد وذلك بغرض امتصاص ثاني أكسيد الكربون الناتج. في بعض الأحيان الأخرى يوضع هذا الصندوق خارج الغرفة ليمرر عليه هواء الغرفة والذي يعاد ضخة لحيز التبريد مرة أخرى بعد امتصاص ثاني أكسيد الكربون. غير أنه في السنوات الأخير حلت المرشحات الخاصة بإزالة ثاني أكسيد الكربون محل هذه الطريقة.

### إضافة أول أكسيد الكربون وإزالة الإيثيلين

في هذه الطريقة تتم إضافة أول أكسيد الكربون من خلال أسطوانات الغاز المجهزة لذلك مع خلطه بغاز النيتروجين وذلك حتى لا يتعدى تركيزه اكثر من 10 %.

يعتبر الإيثيلين ناتج طبيعي في كل الأنسجة الحية النباتية حيث يعتبر هذا المركب البسيط هو هرمون الإنضاج في الثمار وله فوائد كثيرة وكذلك أضرار متعددة. لتحدث تلك التأثيرات لابد من تواجده بتركيزات محددة داخل الأنسجة وفي مدى من درجة الحرارة محدد ومن ثم فإن إجراء عملية التبريد السريع والحفاظ على سلسلة التبريد يحد من تلك التأثيرات الغير مرغوبة للإيثيلين. يؤدي الإيثيلين إلي حث أو بدء عمليات النضج التي عادة ما تكون مصحوبة بزيادة في ليونة الثمار ومن ثم زيادة في معدل التنفس.

توجد بعض الطرق التي يمكن إستخدامها للتخلص من غار الإيثيلين داخل مخازن تبريد الجو الهوائي المعدل. يمكن تقليل تراكم غاز الإيثيلين بواسطة التهوية المنتظمة كما أن إستخدام الأوزون للتخلص من الإيثيلين يتطلب توافر الأكسجين بنسب أكثر من المتوافرة في الجو الهوائي المعدل. كذلك يمكن إستخدام برمنجنات البوتاسيم أو الفحم النشط لعمل مرشحات يمر عليها هواء غرف تبريد الجو الهوائي المعدل وذلك للتخلص من الإيثيلين ويستلزم إستخدام هذه الطريقة التغيير المستمر لمادة المرشح حيث تقل فاعليتها كلما إمتدت ساعات التشغيل.

## التخزين في غرف الضغط المنخفض

تؤدي عملية خفض الضغط الكلي (عن طريق التفريغ الجزئي) إلى خفض الضغط الجزئي للغازات الفردية في الهواء حيث تعد هذه العملية مفيدة فيما يلي:

1- خفض تركيز الأكسجين.

2- تسهيل مهمة خروج الإيثيلين والمواد الطيارة الأخرى.

تتميز هذه الطريقة (خفض الضغط الكلي) عن الطرق الأخرى فيما يلي:

1- قدرتها العالية على التحكم في تركيز الأكسجين ودقتها أحكم من الطرق الأخرى المستخدمة في الجو الهوائي المعدل والمتحكم فيه.

2- تساعد في التخلص من الإيثيلين والمواد الطيارة الأخرى.

## الجو الهوائي المعدل التي تحدثه الثمار نفسها

في هذه الحالة يتم تعديل الجو المحيط بالثمار إعتمادا على تنفس الثمار حيث تستهلك الأكسجين من الجو فيقل تركيزه وينتج ثاني أكسيد الكربون والذي يرتفع تركيزه تبعا لهذا وبذلك يصبح الجو معدلاً ويشترط لهذا إحكام الظروف حول الثمار بإستعمال واحدة أو أكثر من الموانع الخارجية إضافة لموانع الثمار ذاتها. مثال على تلك الموانع الخارجية الإضافية التشميع، أفلام التغليف، العبوات البلاستيكية أو الخشبية أو الكرتون، حوائط غرف التبريد أو عربات النقل المبردة، أغلفة البالتات، وتغليف العبوات النهائية للمستهلك.

في حالة زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون عن المطلوب يمكن الإستعانة بطرق ومواد مختلفة للتخلص من تلك الزيادة حيث تشتمل عملية الإحكام والتحكم في تبادل الغازات بإستخدام واحدة أو أكثر من الطرق الأتية:

1- إستخدام غرف تخزين محكمة النفاذية.

2- التعبئة في أفلام أو مواد أو أكياس.

3- تبطين الصناديق بالبولي إثيلين.

4- تغطية البالات بالأغطية البلاستيكية.

5- التحكم في فتحات التهوية لعبوات الشحن.

6- إستخدام الشموع أو المواد الأخرى على سطح الثمار.

7- إستخدام أغطية من البلاستيك ذات نفاذية معلومة.

من المهم عند إستخدام إحدى هذه الطرق مراعاة بطء تحقيقها للجو الهوائي المعدل ومن ثم فمن المحتمل فقد معظم فوائده.

## التخزين في الأفلام البلاستيكية

زادت حديثا عملية إستخدام عبوات الأفلام البلاستيكية لتحقيق مفهوم الجو الهوائي المعدل حيث إستخدمت أيضا في مخازن تبريد الجو الهوائي المتحكم به. أفلام وأغلفة البولي إثيلين المستخدمة إما في صناديق محكمة أو غير محكمة الغلق قد تم تطبيقها منذ أعوام عديدة لتخزين الكمثرى والتفاح في حين أن التطبيق للمواد الأخرى كان محدودا. الأغلفة أو الأكياس غير محكمة الغلق أو المثقبة تعد شائعة الإستخدام للحد من فقد الوزن وخفض الإصابات الميكانيكية للثمار حيث تستخدم مع العنب والفاصوليا على سبيل المثال ولكن هذه لا تعمل على تكوين هواء جوي معدل. المشكلة الرئيسية للأكياس المغلقة هي أن الهواء داخلها يعتمد على درجة الحرارة

ومن ثم تظهر المشكلة عند تذبذب درجات الحرارة لمستويات قليلة ما لم يكن معدل تنفس المنتج بطئ أو أن درجة إحتماله عالية للبيئة التي تتذبذب بها مستويات ثاني أكسيد الكربون والأكسجين (مثل الموز).

الأفلام المستخدمة عادة ما تكون من البولي إثيلين قليل الكثافة 40 ميكرون. لتفادي عمليات ظهور البثور بنية اللون والأضرار الأخرى الناتجة عن ثاني أكسيد الكربون يمكن إضافة بعض المعطرات أو أجزاء الجير المجفف وذلك لخفض تركيزه. تضاف تلك المواد بمعدل 100-200 جم لكل 10 كجم من الفاكهة حيث ثبتت فاعليتها بالنسبة للتفاح والكمثرى وخاصة مع الأصناف شديدة الحساسية لثاني أكسيد الكربون في مخازن تبريد الجو الهوائي المعدل.

لزيادة تأثير تقنية الجو الهوائي المعدل داخل تلك العبوات يتم تفريغها بداية من الهواء العادي بمعدل 85 كيلو باسكال ومن ثم يتم إحكام غلقها. ولأن البولي إثيلين يعد منفذا للنيتروجين، الأكسجين، وثاني أكسيد الكربون فإن الضغط داخل تلك العبوات يكون بفعل الضغط الجوي مع ملاحظة أن الخفض المبدئي السريع للأكسجين عادة ما يكون مفيدا للتسريع بخلق البيئة المناسبة غير أنه وفي النهاية يكون تركيب الهواء داخل العبوة مماثلا لتلك التي لم يتم تفريغ الهواء داخلها. يجب إزالة الفاكهة من تلك الأكياس بغرض تحقيق النضج الطبيعي حيث أن حفظها في تلك البيئة لفترات طويلة يؤثر على ذلك.

زادت في السنوات الأخيرة عملية الإهتمام بالأفلام البلاستيكية لغرض تخليق بيئة حفظ ملائمة للمنتجات من خلال تقنية الجو الهوائي المعدل وذلك بسبب توفر تلك الأفلام (Modified Atmosphere Packaging, MAP) بإمكانات وإختيارات واسعة لنفاذية الغازات حيث أن الأفلام الحديثة تجنب العديد من المخاطر التي سبق الإشارة إليها والتي كانت تسببها هذه التقنية.

## نموذج بسيط لنظام الجو الهوائي المتحكم فيه

التخزين بتقنية الجو الهوائى المتحكم فيه يتطلب نظام تبريد وتخزين تقليدي بالإضافة إلى غرف محكمة العزل ضد تسرب الغازات علاوة على معدات توليد لتركيزات الغاز المطلوبة ومعدات للقياس والتحكم في مكونات الجو الهوائي. أبسط نظام للحصول على غرف محكمة ضد تسرب الغازات يكون بإستخدام خيمة بلاستيكية داخل غرفة تبريد تقليدية حيث تُصنع تلك الخيمة بسمك 3-5 مم من شرائح البولي إيثيلين ومدعمة بإطار خشبي وتعزل الأرضية الخرسانية بشرائح البولي إيثيلين من خلال حشر أو ضغط البلاستيك في مجرى ضيق وحشو تلك المجاري بأنابيب بداخلها لحفظ البلاستيك بها. لإحكام العزل ضد تسرب الغازات في الأرضية يتم وضع شرائح أو فرش بلاستيك على الأرضية وتغطيته بألواح الخشب ويتم العزل من خلال تربيط أو لحم الخيمة بالأرضية وتزود الخيمة بمروحة لتقليب الهواء. يقل مستوى الأكسجين في البداية من خلال السماح للفاكهة بالتنفس أو من خلال إستخدام مولدات الجو الهوائي المتحكم فيه. يُحافظ على تركيز الأكسجين أعلى من أدنى قيمة مسموح بها من خلال السماح بكميات محددة متحكم بها من الهواء الخارجي بالدخول للخيمة في حين يُحافظ على تركيز ثاني أكسيد الكربون من خلال وضع أكياس من هيدروكسيد الكالسيوم (الجيري الحي) داخل الخيمة لإمتصاص ثاني أكسيد الكربون الزائد.

## مخازن الجو الهوائي المتحكم فيه

تتطلب المخازن الدائمة أن تصمم محطة التبريد خصيصا لتلك التقنية وعادة ما تزيد تكلفة مخازن الجو الهوائي المتحكم فيه عن المخازن التقليدية بحوالي 5 % وتكون التكاليف الإضافية لبناء الغرف بحيث تكون محكمة الغلق ضد تسرب الغازات وفي بعض الأحيان بسبب تصميم غرف صغيرة منفصلة بالمقارنة بتلك المطلوبة لمخازن التبريد التقليدية.

## حجم الغرف

يجب تصميم الغرف المنفصلة بحيث يسمح بإمتلائها في زمن قصير وكثير من غرف الجو الهوائى المتحكم فيه والخاصة بتخزين التفاح تصمم لحفظ إنتاج أسبوع حصاد وإذا ما رغب المشغل في إستخدام غرف الجو الهوائي المتحكم فيه أسرع فيجب أن تكون صغيرة بدرجة كافية بحيث تملأ في 3 أيام أو أقل. الكثير من المحطات لديها عدة أحجام من تلك الغرف للسماح بإستيعاب كميات مختلفه من الفاكهة المستلمة وأنواع وإستراتيجيات تسويق مختلفة.

تصمم مخازن الجو الهوائي المتحكم فيه كطابق واحد بغرف فردية مرتفعة لدرجة كافية للسماح بتخزين صناديق المنتج ذات الحجم الكبير بإرتفاع 10 صناديق بما فيها الإرتفاعات البينية بين الصناديق وبين سطح الصناديق والسقف للسماح للهواء القادم من المبخر لأن يختلط بهواء الغرفة ويمضي بسهولة حتى نهايتها.

## الجدران والأسقف

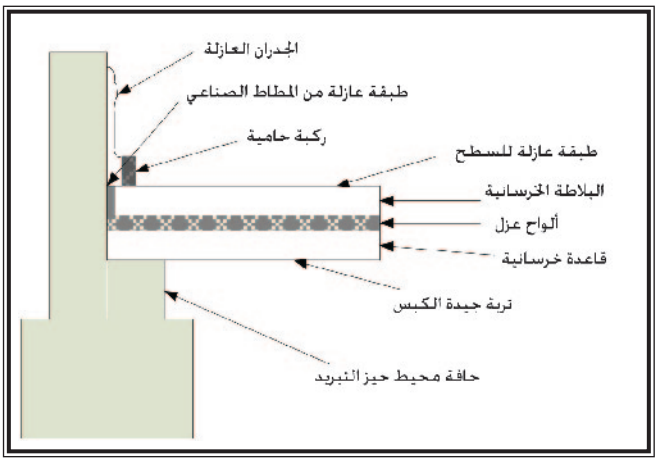
تستخدم لمخازن الجو الهوائي المتحكم فيه المبنية حديثاً ثلاثة أنواع من الحوائط الداخلية والأسقف: فوم اليوراثان المرشوش في الموقع ملاصقا للحائط الخرساني أو الحوائط الفولاذية، ألواح الخشب القائمة والمعزولة بالألياف الزجاجية، وأخيراً ألواح العزل سابقة التجهيز حيث تعد تلك الطريقة الأكثر شيوعا وملائمة للوطن العربي نظرا لأن غالبية مخازن التبريد من تلك النوعية. فوم اليوراثان يستخدم لإحكام الغلق ضد هروب الغازات وللعزل وكمانع لإنتقال الرطوبة والأبخرة، غير أنه غالي الثمن مبدئياً ويجب تغطيته بموانع أو مثبطات الحريق. الفوم المرشوش في المكان يمكن تطبيقه بصورة مباشرة لأى مبنى خشبي أو معدن خام ولكن لا يجب تطبيقه على ألواح العزل القاسية حيث يمكنه تشويهها. يلاحظ أن ألواح العزل غير المتصلة أو المربوطة جيداً تسبب سقوط مواد العزل ضد تسرب الغازات بمضي الوقت.

في غالبية مخازن الهواء الجوي المتحكم فيه يركب مانع تسرب البخار خارج العزل (في الجانب الساخن أو المواجه للخارج) وذلك بسبب أن موانع إنتقال البخار الخارجية تقوم بإصطياد الرطوبة التي ربما تخترق العزل وتخربه.

عادة ما تصمم ألواح العزل في صورة شرائح بسمك 8-15 سم من عزل الفوم القاسي والذي يُغطى من كلا الوجهين بدهان معدني، ألواح، أو ألياف زجاجية ويكون عرض الألواح المعزولة من 1.2 إلى 2 متر حيث تمتد من الأرض وحتى السقف. الألواح المعزولة التي تركب داخل مباني قائمة تثبت معا بوسائل ميكانيكية. المفاصل يتم عزلها بمواد ملائمة ويتم حقن الفجوات الكبيرة بالفوم السائل.

## الأرضيات

يمكن جعل الأرضيات محكمة الغلق ضد تسرب الغازات عن طريق تصميمها في صورة طبقات أو على هيئة بلاطات فردية. وعادة ما يتم عزل الأرضية عن طريق الألواح العازلة بسمك 10 سم في صورة طبقتين توضع الطبقة الأولى على أرضية فرشة النظافة الخرسانية تليها الطبقة الثانية (شكل 4.6). يتم صب طبقة عازلة ضد تسرب الغازات من الزفت حيث يصب ساخنا (Hot mopped asphalt) . يستخدم فقط نظام البلاطة الفردية للأرضية (والذي تكون عبارة عن بلاطة واحدة بدون أي تقسيمات) إذا ما عُزل محيط الحيز المبرد. في تلك الحالة تعزل الأرضية من خلال وضع مواد خاصة مثل المطاط الكلوري على سطح الأرضية. في كلا التصميمين لا تنجح دائما عملية عزل مناطق الإلتقاء بين الجدران والأرضية. يجب منع الحركة النسبية للأرضية مع الحوائط من خلال ملئ وضغط طبقات الأرض بالكامل ويمكن ربط الأرضية مع الحوائط من خلال أعمدة تقوية فولاذية أو يمكن تثبت الأرضية على رفوف بعرض 10 سم تبنى بأساسات الحوائط.




**شكل (4.6)**: أساسيات الغرف محكمة العزل للجو الهوائي المتحكم فيه (Thompson, 2002).

## الأبواب

يمكن إستخدام العديد من تصميمات الأبواب في مخازن الجو الهوائي المتحكم فيه حيث يتكون الباب في كل التصميمات من إطار صلب يثبت بإحكام على إطار أخر

عازل ضد تسرب الغازات مجهز بغطاء خارجي، يمكن تغطية هذا الإطار بالأخشاب أو المعدن العازل ضد تسرب الغازات. هناك بعض الأبواب الغالية الثمن لها ألواح ألومينيوم حيث يتم لحمها في الإطار الذي هو من نفس المعدن. قاع الأبواب عادة ما يعزل أو يحكم من خلال عناصر إحكام إضافية بعد غلق الباب. عرض غالبية الأبواب يكون 2.4 إلى 3 متر وبطول كافٍ يسمح بمرور الروافع الشوكية التي تحمل صندوقين كبيرين خلال الباب.

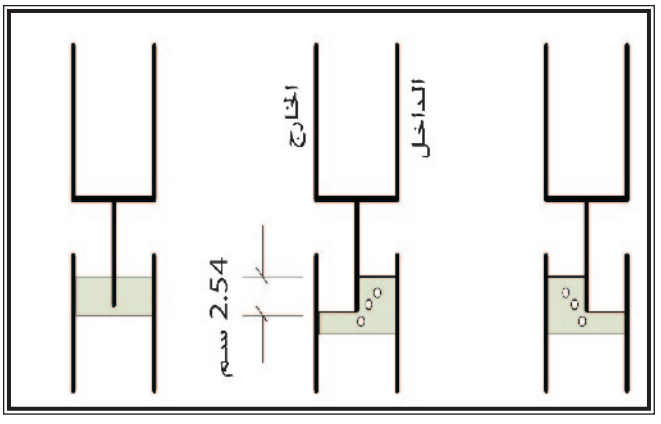
**شكل (5.6)**: غرف جو هوائي متحكم به يوضح الأبواب الإضافية ذات النافذة الزجاجية (Thompson, 2002).

يجب أن يكون لكل غرفة باب إضافي بأبعاد 60×75 سم يسمح لعمل الإصلاحات اللازمة داخل الغرفة بدون فتح الباب الرئيسي. العديد من المخازن لها نوافذ شفافة أكريليك قريبة من أعلى الحائط العلوي تسمح بتفقد الفاكهة المخزنة بدون الحاجة لدخول الغرفة. النافذة عادة ما يكون لها شكل مقعر بحيث تسمح بتفقد كل مساحة المخزن شكل (5.6).

## التحرير أو تفريغ الضغط

يمكن لفرق الضغط بين غرفة الجو الهوائي المتحكم فيه والجو الخارجي أن ينمو أو يزيد وذلك بسبب تغيرات الجو الخارجي أو بسبب درجة حرارة الغرفة حيث يمكن أن يسبب هذا ضرر بعوازل الغاز إذا لم يتم تحريره أو تفريغه. عادة ما تستخدم مصيدة مياه (شكل 6.6) لإحداث التوازن المطلوب حيث تملئ المصيدة بجليكول الإيثلين لمنع الماء من التبخر. تستخدم صمامات تعمل من خلال يايات تحميل لكنها غالية الثمن مقارنة بمصايد المياه، لكل غرفة فتحة تهوية بمساحة 10سم$^2$ لكل 40 م$^3$ من مساحة الغرفة.

بعض التغيرات الصغيرة في الضغط يمكن تحريرها من خلال الأكياس المنفذة (Breather bags)، لهذه الأكياس ميزة إصطياد خليط الغاز والسماح له بدخول الغرفة في أوقات أخرى. يجب أن تكون سعة الأكياس من 0.35 – 0.40 م$^3$ لكل 100م$^3$ من حجم الغرفة بالرغم من أن البعض يصمم بأضعاف تلك السعة. تعتبر الأكياس المنفذة غير ضرورية إذا ما كانت غرف الجو الهوائي المتحكم فيه قد أحكم غلقها لدرجة أنه أحيانا لابد من إدخال بعض الهواء الخارجي للداخل وبصورة منتظمة للحفاظ على مستوى الأكسجين.




**شكل (6.6)**: مصايد المياه للتحكم في تحرير الضغط بغرف الجو الهوائي المتحكم فيه (Thompson, 2002).

## إختبار الضغط

يمكن إختبار إحكام الغلق الكلي لغرف الجو الهوائي المتحكم به من خلال ضغطها ومن ثم قياس معدل الإنخفاض في الضغط بعد إحكام غلق جميع الأبواب والنوافذ، تستخدم مروحة صغيرة لزيادة الضغط الإستاتيكي في الغرفة إلى 25 مم عمود ماء. يتم بعد ذلك إيقاف المروحة ويحكم غلق الغرفة ويحدد طول الزمن اللازم لإنخفاض الضغط إلى 50 %. إذا ما كان هذا الوقت 20 دقيقة أو أطول فإن الغرفة تعتبر جيدة الإحكام وذلك لنظم الجو الهوائي المتحكم به التي تستخدم الحجر الجيري للمحافظة على مستويات ثاني أكسيد الكربون في حين يتطلب الأمر على الأقل 30 دقيقة للغرف التي تستخدم الكربون أو الغسيل المائي للتحكم في ثاني أكسيد الكربون . يعتقد بعض الباحثين أن الغرف يجب أن تكون أكثر إحكاما مقارنة بالتوصيات القياسية حيث يوصون بـ 45 دقيقة لكي ينخفض الضغط إلى 50 % ولأن إحكام غلق الغرف يتدهور بمضي الزمن فيجب أن تكون الغرف الجديدة أكثر إحكاماً من الطرق السائدة.

إذا لم تحقق الغرفة المواصفات المرغوبة فيجب التأكد من عدم وجود أى تسريب والذي غالبا ما يكون حول الأبواب وعند مناطق إلتقاء الحوائط بالأرض وقريب من الثقوب أو الفتحات سيئة الإحكام أو العزل وأماكن فتحات صناديق الكهرباء غير المحكمة أو غير المعزولة. تُختبر الغرفة لتحديد أماكن التسريب من خلال وضع الغرفة تحت تفريغ بسيط وحينئذ يُسمح لتهريب أو تسريب الهواء أو ترش المناطق المشكوك في حدوث التسريب بها بماء الصابون ومراقبة الفقاعات. يمكن إستخدام أجهزة توليد الدخان لإكتشاف تيارات الهواء الخارجي الداخلة إلى الغرفة أو العكس.

## الجو الهوائي المعدل

يُعد الأرخص ثمناً لكنه الأبطئ في تعديل الأجواء داخل غرف التخزين. في تلك الطريقة تقوم الثمار بتعديل تلك الأجواء من خلال عملية التنفس الطبيعي حيث تستخدم الأجزاء النباتية الأكسجين وتطلق ثاني أكسيد الكربون. المنتج والذي تمتلئ به الغرفة المحكمة الغلق يخفض من مستوى الأكسجين للحد المطلوب لغرفة تخزين الهواء الجوي المتحكم فيه. إذا ما انخفض مستوى الأكسجين لمستويات متدنية يمكن إضافة هواء الجو الخارجي لإستعادة الظروف المرغوبة، على أية حال يسبب التنفس إرتفاع نسبة ثاني أكسيد الكربون لأعلى من المستويات المرغوبة ويمكن إستخدام الجير الحي لإمتصاص ثاني أكسيد الكربون الزائد. نسب الجير المطلوبة من 1-3 كيلو جرام لكل 100 كجم من المنتج وذلك وفقاً للثمار المخزنة، فترة التخزين، المساحة السطحية، وجودة الحجر الجيري. يمكن وضع أكياس الحجر الجيري كطبقة فردية في غرفة الجو الهوائي المتحكم به أو في غرفة مخصصة مجاورة والتي يتم إيصالها بغرف الجو الهوائي المتحكم به عن طريق مروحة وشبكة أنابيب. يجب تصميم الغرف لتسع 15 كجم من الجير الحي لكل طن متري من المنتج. الحجر الجيري فعال جداً في إنتاج مستويات متدنية من ثاني أكسيد الكربون والتي تستخدم بصورة زائدة في مخازن التفاح. يمكن التحكم في مستويات ثاني أكسيد الكربون من خلال نظم الإمتصاص بالكربون النشط والمعروفة أيضاً بالغرابيل الجزيئية والتي تميل لإستخدام طاقة أعلى مقارنة بنظم الكربون النشط.

طريقة الإعتماد على تنفس المنتج لإزالة الأكسجين وتحقيق الظروف المرغوبة عادة ما تكون بطيئة حيث يمكن زيادة العمر التخزيني للمنتج في حال الإسراع بإزالة الأكسجين. في بعض عمليات التشغيل يتم التخلص من غازات الغرفة من خلال النيتروجين السائل الجاهز أو المولد في المكان وتقوم بعض مولدات النيتروجين بحرق النشادر بغرض إستهلاك الأكسجين وإنتاج النيتروجين والماء. أيضا يوجد نظامين آخرين للتخلص من أكسجين الغرفة عن طريق عملية الغربلة الجزيئية (إدمصاص الضغط النشط) أو الأغشية نصف المنفذة لإزالة الأكسجين. جميع معدات إزالة الأكسجين من خلال إحتراق الغازات الطبيعية أو البروبان تنتج ثاني أكسيد الكربون والذي يجب إزالته من خلال عملية أخرى غير أن الإحتراق غير الكامل في تلك المعدات قد يسبب إنفجارات في غرف الجو الهوائي المتحكم به وتتسمم العمالة بأول أكسيد الكربون.

## معدات التبريد

معدات تبريد نظم التخزين بالجو الهوائي المتحكم به هي نفس معدات مخازن التبريد الأخرى. العديد من مخازن التبريد تصمم للحفاظ على درجة الصفر المئوي عند رطوبة نسبية 90 %. يجب أن يكون تدوير الهواء أثناء التخزين في حدود 0.0208 إلى 0.0104 م$^3$/ثانية/ طن متري وذلك وفقاً لأقصى سعة تخزينية. تتطلب عملية التبريد 0.052 م$^3$/ثانية/ طن متري وذلك عقب التحميل المبدئي للغرف.

## نظم المراقبة

يجب مراقبة نسب الأكسجين وثاني أكسيد الكربون يومياً وبصورة دورية للتأكد بأنهم في المدى المسموح به. كان شائعا إستخدام جهاز تحليل الغازات (Orsat) وهو نظام كيميائي مبتل غير أنه يستهلك الكثير من الوقت. الآن تستخدم وعلى نطاق واسع معدات إلكترونية أكثر دقة من النظام السابق وتوفر سجلات من البيانات ويمكن ربطها بأجهزة التحكم لتحافظ بصورة أوتوماتيكية على تركيزات الغاز المناسبة. يجب أيضاً مراقبة درجة الحرارة بصورة دورية من خلال جهازين حرارة على الأقل وتتم معايرتهم

بصورة دورية، واحد من تلك الأجهزة يكون سهل ملاحظته بالعين حيث يثبت خارج الغرفة في حين يكون الأخر فوق المنتج ويمكن قراءته من خلال النافذة الموجودة على باب الغرفة قرب السقف. أجهزة تسجيل الحرارة الإلكترونية تسمح بسهولة ملاحظة درجة حرارة الغرفة ويمكن طباعة بياناتها بسهولة لتسجيلها في سجلات الأداء الخاص بالنظام. غالبية الغرف الجديدة تستخدم 4 مجسات لكل غرفة، توضع بعض المجسات في صناديق المنتج كبيرة الحجم لمراقبة درجة الحرارة.

### إعتبارات الأمان

الأجواء داخل غرف الجو الهوائي المتحكم به خطيرة على حياة الإنسان حيث توفى بعض الأفراد بإسفكسيا الخنق أثناء العمل بتلك الغرف. يجب وضع علامة الخطر على أبواب تلك الغرف وأن تكون فتحة الوصول أو الإقتراب من الباب واسعة بدرجة كافية لتناسب دخول شخص بمعدات التنفس. يجب أن يعمل شخصين معاً على الأقل بمعدات التنفس في كل الأوقات ويكون أحدهم داخل الغرفة والأخر خارج الغرفة لمراقبته.

## المواصفات العامة التي يجب توافرها في غرف تخزين الجو الهوائي المتحكم به والمعدل

لابد من مراعاة المواصفات الخاصة بهذه الغرف وإستحداث التشريعات الملزمة بها للمشاريع الجديدة المزمع إنشائها في الوطن العربي ومنها:

1- **مواد البناء:** معظم الوحدات الحديثة يتم إنشائها بإستخدام الحوائط المعزولة سابقة التجهيز وفي بعض الأحيان تستخدم أحجارالبناء العادية التي يتم معاملاتها بالعزل الحراري والعزل المائي.

2- **الحجم:** يتم بناء غرف التخزين للجو الهوائي المعدل من عدة وحدات صغيرة يتوقف عددها على الأصناف المخزنة، الكميات، والظروف التسويقية. في بعض الأحيان تكون هناك وحدات مركزية للمحطات الكبيرة.

3- **وسائط التبريد:** الفريون أقل ضرر على المحاصيل من النشادر وإذا تم إستخدام النشادر فلابد من مراجعة وفحص نظام التبريد كل موسم مع ضرورة إستخدام أجهزة إنذار لبيان أى تسرب في النشادر.

4- **العزل:** لابد من إستخدام الحد الأقصى للعزل من حيث السمك وذلك لكل من الحرارة والرطوبة.

5- **إحكام الغلق وتبادل الغازات:** لابد من إحكام غلق وسد الفتحات في الجدران وأسقف المخازن.

6- **إمكانية المراقبة وأخذ عينات الغازات أثناء التخزين:** لابد من توفيرها وبسهولة وبأمان وفي أماكن مناسبة.

7- قد يتطلب الأمر إستخدام أجهزة خاصة لتنظيم وتلافي ومراقبة التقلبات والتذبذبات في الضغط داخل وحدات التخزين.

8- وحدات تنقية الغازات قد تكون مطلوبة للتخلص من الغازات غير المرغوبة كالروائح وكذلك للتخلص من الإيثيلين في بعض الحالات.

10- إستخدام المزدوجات الحرارية ووسائل تسجيل درجات الحرارة الأخرى أمر ضروري أثناء فترة التخزين.

11- لابد من إستخدام وحدات حساسة ودقيقة لأخذ العينات وتحليلها لكل من الأكسجين وثاني أكسيد الكربون لمتابعة التغيرات على مدار ساعات التشغيل. وقد يستعان بأجهزة إنذار للتنبيه عند إنخفاض الأكسجين عن حد معين أو زيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون عن المطلوب.

12- نظرا لأن الجو الداخلي لغرف تخزين الجو الهوائي المعدل لا يناسب عملية تنفس الإنسان ويؤدي للموت فلابد من وجود علامات تحذيرية ويجب أن يسمح تصميم الغرف بدخول شخص أخر وبنفس الإستعدادات ويبقى خارج الغرفة لمراقبة الشخص الأول ومتابعته حتى يمكن مساعدتة ان احتاج لذلك.

## الخلاصة

في الوطن العربي توجد ندرة في مخازن التبريد المجهزة بتقنية الجو الهوائي المتحكم فيه أو المعدل رغم أهميتها. في هذا الفصل تم التعرض لتفاصيل تلك التقنية بصورها المختلفة ومميزاتها وعيوبها وشرح تفاصيل النظام ومكوناته والخصائص العامة لمنشئاتها و إحتياطات الآمان الواجب مراعتها.

## الفصل السابع

# حسابات الأحمال الحرارية لعمليات التبريد السريع والتخزين المبرد


### الملخص

توجد العديد من المصادر الحرارية التي يجب أخذها في الاعتبار عند تصميم مخازن التبريد ومحطات التبريد السريع لتقدير الحمل الحراري ومن ثم إختيار حجم ونوعية معدات التبريد. تعتبر تلك الخطوة هامه حيث يجب تضمينها العديد من العوامل مثل نوعية المنتجات المخزنة وطريقة التداول المتوقعة، وسائل التعبئة، وإحتمالات التوسع المستقبلي. يصنف الحمل التبريدي لعمليات التبريد السريع بأنه حمل ديناميكي أو حمل متغير ومن ثم يجب أخذ كافة الإحتياطات الخاصة بعملية الآمان لمعدات التبريد وإختيار النظم الأكثر ملائمة لهذا الحمل. سيناقش الفصل تفصيليا كيفية حساب السعة التبريدية لكل من مشاريع التبريد السريع والتخزين المبرد.


### مقدمة

كما سبق ذكره فإن نظام التبريد بدفع الهواء يعمل علي إيجاد فارق في الضغط بحيث يسمح بسريان الهواء البارد عبر فتحات عبوات المنتج لينتج عن ذلك تبريدا سريعا نتيجة التلامس المباشر بين الهواء البارد والمنتج الدافئ بفعل حرارة الحقل المتراكمة داخله. يتم تحقيق هذا الهدف من خلال عملية تبريد سريع ومتجانس من خلال تناسق فتحات العبوات المرصوصة على إمتداد جانبي نفق التبريد أو في الحائط البارد. أثناء دورة التبريد بالهواء المضغوط يمر تيار الهواء السريع حول العبوة وداخلها مما يتسبب في حدوث معدل عالي من إنتقال الحرارة ومن ثم يتم خفض درجة حرارة المنتج بسرعة.

في هذا الجزء سيتم التعرض فقط لحسابات أحمال التبريد لغرف التبريد ولعمليات التبريد السريع بنظام الهواء المدفوع حيث أنه النظام الأكثر ملائمة، شيوعا، وتطبيقا لمنتجات الدول العربية. أيضا وبسبب الندرة المستقبلية للماء وبوجه عام فإن التبريد بالماء كوسيلة من وسائل التبريد السريع يتطلب نظام تبريد ميكانيكي أكبر حجما من نظم غرف التبريد أو بالهواء المدفوع مما يعني زيادة التكلفة لنظام التبريد بالماء بالمقارنة بالنظم الأخرى.

هنا سنتعرض تفصيليا لحساب حجم معدات التبريد المطلوبة وكذلك قدرة المراوح اللازمة. السعة التبريدية للمحطة أو لغرف التبريد هي مجموع الأحمال الحرارية الواجب إزالتها من حيز التبريد للوصول بدرجة الحرارة النهائية المرغوبة للمنتج في زمن محدد ووفقا لظروف التعبئة الخاصة به. للتبريد السريع يكون الحمل الحراري وبصورة أساسية عبارة عن:

**الحمل الحراري الكلي = الحمل الحراري للمنتج + الحمل الحراري للمروحة + الأحمال الحرارية الأخرى**

من المهم أن يكون لحجم وسعة معدات التبريد القدرة على إزالة الأحمال الحرارية الكلية من النظام وليس فقط الحمل الحراري للمنتج ولهذا فإن التبريد السريع بالهواء المضغوط أو المدفوع يتطلب قدرا أكبر من السعة التبريدية لإزالة حرارة المروحة والأحمال الإضافية. هذه السعة ليست متاحة لتبريد المنتج فعلى سبيل المثال فإنه ولنظام تبريد سريع ذو ضاغط وملف تبريد بسعة 50 ك.وات فإنه قد يتيح فقط 35 ك.وات لتبريد المنتج فعليا.

يوضح جدول (1.7) أن لزمن خفض درجة الحرارة تأثيرا مباشرا على القيمة التسويقية للفاكهة ذات النواة الحجرية فدورة التبريد التي تستغرق ساعتين للوصول إلى 10°م تُفقد المنتج فقط 0.2 يوم من قيمته التسويقية في حين لو أستغرقت تلك الفترة 6 ساعات فإنها تفقده ثلاث أضعاف القيمة السابقة وهكذا لبقية خطوات التداول. في حال السيطرة على درجة الحرارة أثناء النقل لمحلات التجزئة (في عربات مبردة) فسيكون الفقد ضئيلا جدا في القيمة التسويقية وهو 0.1 يوم مقابل 0.5 يوم من القيمة التسويقية في حال تم النقل في عربات مكشوفة . يظهر الجدول أيضا أن طول عملية التبريد الغير ملائمة يكون لها الأثر الأكبر في فقد القيمة التسويقية. من هنا تظهر أهمية عملية التبريد السريع بالمقارنة بتبريد الغرف العادية.

**جدول (1.7)**: أثر سلسلة التبريد على القيمة التسويقية للفاكهة ذات النواة الحجرية.

| خطوة التداول لما بعد الحصاد | مبرد | | غير مبرد | |
|---|---|---|---|---|
| الحصاد ثم التبريد لدرجة 10°م | 2 ساعة | 0.2 | 6 ساعة | 0.6 |
| درجة حرارة المظلة الحقلية | 15°م | 0.2 | 30°م | 0.5 |
| زمن التعبئة | 1 ساعة | 0.1 | 2.5 ساعة | 0.3 |
| زمن تبريد الثمار المعبئة لأقل من 2°م | 3 ساعة | 0.3 | 8 ساعة | 0.8 |
| درجة حرارة نقل الثمار | 1°م | 0.1 | 5°م | 0.5 |
| مسار نقل الثمار | مباشرة للسوق | 0.1 | من خلال وسيط | 0.3 |
| طريقة التخزين في سوق الجملة | مخازن تبريد | 0.1 | أرضية السوق | 0.5 |
| طريقة البيع في سوق الجملة | أماكن مبردة | 0.2 | أرضية السوق | 0.5 |
| طريقة النقل لمحلات التجزئة | عربات مبردة | 0.1 | دينات مكشوفة | 0.5 |
| الفقد الكلي في القدرة التسويقية | | 1.4 يوم | | 4.5 يوم |

## مكونات نظام التبريد السريع بدفع الهواء

يشتمل النظام على ما يلي:

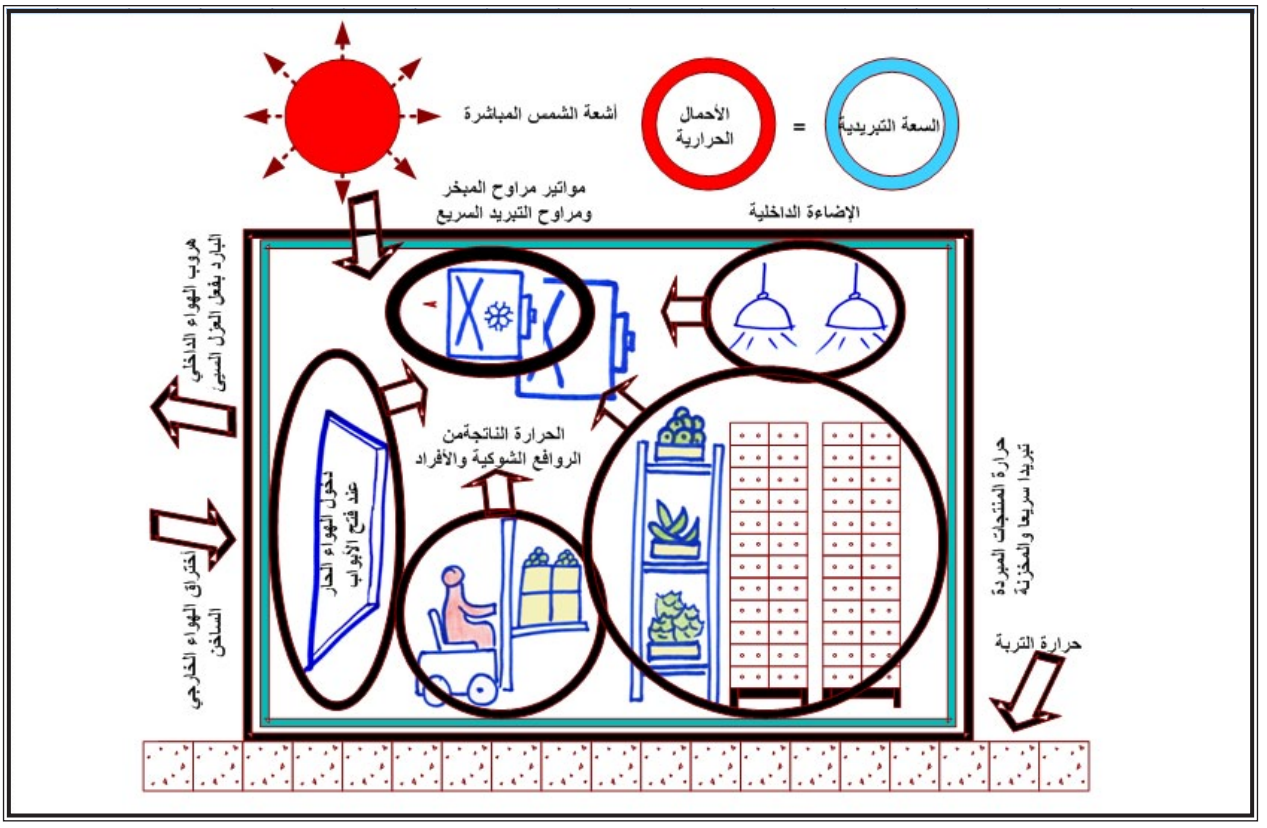
1- مروحة وملحقات دفع سريان الهواء.
2- ستارة لتغطية نفق التبريد.
3- نظام التبريد.
4- معدات المراقبة والتحكم.

## المصادر الحرارية

يوضح شكل (1.7) وجدول (2.7) مصادر الحرارة المختلفة التي يجب أخذها في الإعتبار لتقدير الأحمال الحرارية الكلية سواء في غرف التبريد العادية أو لعمليات التبريد السريع. تشتمل تلك المصادر على حمل المنتج، الإضاءة، المواتير، الروافع الشوكية، إنتقال الحرارة عبر السقف والجدران والأرضية. يمثل حمل المنتج الحمل الأكبر حيث يوضح الجدول توزيع الحمل الحراري في غرفة تبريد لحفظ الطماطم الخضراء على درجة حرارة 18°م وكانت درجة الحرارة الخارجية 35°م ولا يوجد عزل بالأرضية في حين كانت الجدران معزولة بسمك 10 سم من مادة البوليوراثان. يتضح من الجدول أن الحمل الحراري للمنتج وفي حال غرف التبريد يمثل تقريبا 53 % من الحمل الحراري الكلي ومن ثم وفي حال تقديره يمكن تقدير السعة الكلية المرغوبة.

**جدول (2.7)**: النسب المئوية لمكونات الحمل الحراري لغرف تبريد الحاصلات البستانية.

| المصدر الحراري | النسبة من الحمل الحراري الكلي |
|---|---|
| الحوائط | 3 |
| الأرضية | 15 |
| السقف | 1.5 |
| المنتج | 53 |
| التنفس | 13 |
| إختراق الهواء الخارجي | 1.5 |
| الحرارة الكامنه | 4 |
| المواتير | 2 |
| الإضاءة | 1.5 |
| العمالة | 0.5 |
| الروافع الشوكية | 5 |
| الحمل الكلي | 100 |




شكل **(1.7)**: المصادر الحرارية المختلفة الواجب مراعاتها عند تقدير السعات التبريدية.

من المفترض أن تقوم الشركة التي ستشيد مستودع التبريد بعمل حسابات تفصيلية للأحمال الحرارية المفترض مراعاتها في محطة التبريد السريع أو مخازن التبريد حيث توجد برامج حاسوبية تقوم بتقدير السعة التبريدية بطريقة جيدة ووفقا لكافة العوامل التي تتضمنها تلك العملية مثل إتجاهات أشعة الشمس على الجدران الأربعة وسقف المخزن، متوسط درجة الحرارة الخارجية على مدار العام، عدد مرات تغيير الهواء، وسمك العزل للجدران والأرضية ونوعه...إلخ. ومن ثم يتضح أن عملية حساب الأحمال الحرارية لعمليات التبريد السريع عملية متخصصة تحتاج للكثير من البيانات والتي يجب أن يتم إستيعابها جيدا من قبل المصمم بغرض الوصول لأفضل النتائج. تشتمل تلك البيانات المطلوبة على ما يلي:

1- خريطة بالمنتجات المتعامل معها طوال العام من حيث الأنواع والكميات والأزمنة.
2- معدلات التبريد في صورة عدد البالتات وعدد الصناديق بكل بالتة ووزن كل صندوق.
3- معرفة طريقة التعبئة ونسبة الفتحات بكل صندوق حيث يجب ألا تقل عن 5 % ولا تزيد عن 10 % لكي لا تؤثر على قوة الصندوق.
4- عدد الصناديق التي يمر بها الهواء من مصدره إلى نقطة رجوعه للمروحة.
5- مدى إستقامة فتحات الصناديق مع مثيلاتها لمواد التعبئة.
6- زمن دورة التبريد المطلوبة.
7- هل سيتم تبريد المواد الخام أم المواد المعبئة تعبئة نهائية.
8- تحديد هل سيتم إستخدام المحطة لغرض التبريد السريع فقط أم التبريد والتخزين معا.
9- درجات الحرارة الإبتدائية للمنتجات المختلفة والتي سيتم الحصاد عليها وكذلك درجة حرارة الأجواء الخارجية.
10- نوعية عزل الجدران والسقف وأرضية المحطة.
11- عدد مرات فتح الأبواب ومن ثم عدد مرات إستبدال الهواء الداخلي بآخر من الخارج بالنسبة لوحدة الزمن.
12- المصادر الحرارية المختلفة الأخرى مثل العمال وعدد الروافع الشوكية والإضاءة.

## حساب الحمل الحراري للمنتج

في كل من التبريد بغرف التبريد العادية ومحطات التبريد السريع تكون حسابات الأحمال الحرارية واحدة والفارق هو زمن التبريد أو بمعنى آخر يكون الفارق هو الفترة الزمنية المرغوب الوصول خلالها لدرجة الحرارة النهائية للمنتج ومن ثم تنعكس على الحمل الحراري له. يتم تقدير الحمل الحراري للمنتج من خلال معرفة درجة حرارتة الإبتدائية ودرجة حرارتة النهائية المرغوب الوصول إليها في فترة زمنية معينة. يضاف لذلك معرفة معدلات دخول كميات المنتج وخواصه الحرارية وتحديدا السعة الحرارية (الحرارة النوعية) وهي خاصيه يمكن من خلالها تقدير كمية الحرارة اللازم سحبها من كجم واحد لخفض درجة حرارة المنتج درجة واحدة مئوية (ك جول/كجم/°م). حين يتم تحميل الغرفة بعبوات المنتج فإنها دون غيرها من المصادر الأخرى تنشر حرارتها في الغرفة وحيث أن المحتوى الرطوبي لغالبية الحاصلات البستانية عالي فيمكن تقريب تلك العملية بتبريد وعاء كبير من الماء بحجم البالتة أو طبلية المنتج. خواص إنتقال الحرارة للمنتجات سريعة التلف رديئة مما يبطئ من معدلات تبريدها بعكس المواد المعدنية التي تنتقل منها وإليها الحرارة بسرعة ومن ثم ولغرف التبريد العادية فإن الأمر يستغرق أيام للوصول لدرجات الحرارة المرغوبة.

يعتبر الحمل الحراري للمنتج هو الحمل الرئيسي حيث يشكل أكثر من 50 % يليه حمل المروحة. تستخدم العلاقة التالية لتقدير الحمل الحراري للمنتج لعملية التبريد السريع:

**الحمل الحراري للمنتج (ك.وات) =**

$$\frac{W \times TD \times Cp \times CF}{(7/8) \times CT}$$

فرق درجة الحرارة TD في العلاقة السابقة هو الفارق بين درجة الحرارة الإبتدائية ودرجة الحرارة النهائية المرغوب الوصول لها (°م) . وزن المنتج (w) يعني كمية المنتج في كل دفعة لعملية التبريد السريع (كجم). الحرارة النوعية (Cp) تبلغ قيمتها 3.84، 3.59، 3.92، 3.92 و3.8 (ك.جول/كجم/°م)، لكل من الفراولة، العنب، المانجو، القاوون، والفاصوليا الخضراء على التوالي. زمن التبريد بالساعة (CT) هو الزمن اللازم للوصول إلى درجة حرارة تبريد المنتج الموصى بها. CF هو معامل سريان حرارة التبريد ويعتمد على منحنى نصف زمن التبريد بعد تعديله إلى سبعة أثمان الزمن التبريدي.

## سبعة أثمان الزمن التبريدي

سبعة أثمان الزمن التبريدي كما سبق شرحه يمكن الحصول عليه من مصادر عديدة حيث كلما قل كلما زاد حجم المعدات المطلوبة فمثلا لكي يتم تبريد كمية معينة من العنب في فترة 4 ساعات يتطلب سعة تبريدية أعلى من لو كان نفس الزمن هو ثمانية ساعات. لطبيعة عملية التبريد السريع فإنه ولغالبية المنتجات تكون معدلات التبريد سريعة في البداية ثم لا تلبث أن تبطئ بمضي عملية التبريد. توجد العديد من العوامل التي تؤثر على زمن التبريد منها:

1- كثافة المنتجات بالعبوة حيث وكلما قلت الكثافة كلما زاد معدل التبريد.
2- نوع، طريقة توجيه، وتصميم الفتحات الجانبية بالعبوة بحيث لو سمح ذلك بمرور منتظم ومتساوي للهواء فإن ذلك يُسرع من عملية التبريد.
3- نسبة الحجم للمساحة السطحية للمنتج، فكلما قلت تلك النسبة كلما زادت سرعة التبريد ومثال على ذلك الفراولة والتي تبرد أسرع من القاوون.
4- المسافة التي يتعين على الهواء البارد أن يقطعها، حيث وكلما قصرت تلك المسافة كلما زادت سرعة عملية التبريد.
5- معدلات تدفق الهواء، فكلما زادت كلما زاد معدل عملية التبريد.

سبعة أثمان زمن التبريد هو المصطلح المستخدم في نطاق عمليات التصميم للتبريد السريع وهو يعني الزمن اللازم لإزالة 87.5 % من الفارق بين درجة الحرارة الإبتدائية للمنتج ودرجة حرارة هواء وسط التبريد. يبين هذا الرقم وبطريقة عملية مدى قرب درجة حرارة المنتج لدرجة حرارة وسط التبريد. يقاس هذا الزمن من بداية وضع المنتج في نفق التبريد وبدء تشغيله.

يحتاج الأمر في بعض الأحيان ولتصميم محطات التبريد السريع بيانات خاصة بسبعة أثمان الزمن التبريدي للأنواع المختلفة من الحاصلات البستانية. يوضح جدول (3.7) تلك الأزمنة لأنواع محددة من المنتجات سريعة التلف مع وصف لعملية التعبئة ونسبة فتحات التهوية الجانبية.

## حسابات الحمل الحراري للمروحة

يتطلب التبريد السريع معدلات سريان مرتفعة للهواء مما ينتج عنه إرتفاع مستوى إستهلاك الطاقة. من الصعب دائما التنبؤ بالضاغط الكلي الأستاتيكي الذي يتعين على المروحة أن تبذل شغلا معاكسا له حيث يتأثر ضغط الهواء عبر جانبي البالتة بالعديد من العوامل إلا أنه ولغالبية عمليات التبريد السريع يكون هذا الضاغط في حدود 375 باسكال. يتم إختيار المروحة وفقا لكل من معدلات التدفق المطلوبة وفقا للضاغط وتكون في حدود 0.6 إلى 76 لتر/ثانية/كجم. زيادة معدلات تدفق الهواء يمكنها أن تُخفض من زمن التبريد

**جدول (3.7)**: سبعة أثمان زمن التبريد بدفع الهواء لأنواع مختلفة من المنتجات (Thompson *et al.*, 2008).

| المنتج | نوع التعبئة | نسبة الفتحات | معدل تدفق الهواء لتر/ثانية/كجم | سبعة أثمان الزمن التبريدي (ساعة) |
|---|---|---|---|---|
| الخرشوف | صندوق مضلع | % 9 | 1 | 4 |
| العنب | تليسكوبي كامل | 5.8 | 0.27<br>0.4<br>1 | 6<br>4<br>2 |
| النكتارين | صندوق مضلع بفواصل بلاستيكية<br>صندوق كرتون مغلق/ على طبقتين | % 6<br>% 5 | 0.5<br>0.8<br>0.5<br>0.8 | 4<br>3<br>6<br>4 |
| الكمثرى | صندوق مضلع | % 2<br>% 5 | 0.3<br>1.2<br>0.4<br>1 | 9<br>3<br>6<br>3 |
| البرتقال | تعبئة صب وفتحات من أسفل | | 0.4<br>1 | 6<br>3 |
| الفراولة | صناديق مفتوحة مرصوصة على بالتة | | 0.5<br>0.8<br>1.4 | 4<br>3<br>2 |
| الطماطم | صندوق مضلع | % 10 | 0.6<br>1.1<br>1.6 | 6<br>4<br>3 |

لكن نسبة الخفض ليست خطية حيث يخشى أيضا مع زيادة معدلات الهواء المدفوع من الأثر التجفيفي على الثمار ولهذا السبب يتم تركيب أجهزة تحكم في معدلات تدفق الهواء والتي تخفض من تلك المعدلات بطريقة تتناسب مع معدلات الخفض في درجة حرارة المنتج. يمكن تركيب تلك الأجهزة مع المراوح المركزية والعمودية والشائع إستخدامها في عمليات التبريد السريع.

من الضروري فهم أن زيادة معدلات تدفق الهواء ليست ذات معنى في غياب السعات التبريدية الملائمة وفي ظل عدم إحكام غلق نفق التبريد بحيث لا يتم مرور الهواء من أى فجوات غير فتحات العبوات. الهواء يميل للمرور في الفتحات الأقل مقاومة ولذا يجب العناية الفائقة في سد أى فجوات أو فتحات غير فتحات العبوات الجانبية. حتى في أفضل حالات الأنفاق محكمة العزل فإن الفقد في تدفق هذا الهواء بفعل تلك الفجوات يقدر بقيمة 10 %. لإحكام غلق النفق يجب مراعاة ما يلي:

1- غلق فتحات أسلحة الروافع الشوكية بأسفل جانبي البالتات الخشبية.

2- إستخدام عبوات ترص بإحكام وتتطابق فتحاتها على بعضها البعض لتشكل قنوات عرضية ورأسية.

3- يجب عمل مخدات مرنة باتجاه الحائط المقابل للبالتات لمنع أى فجوات.

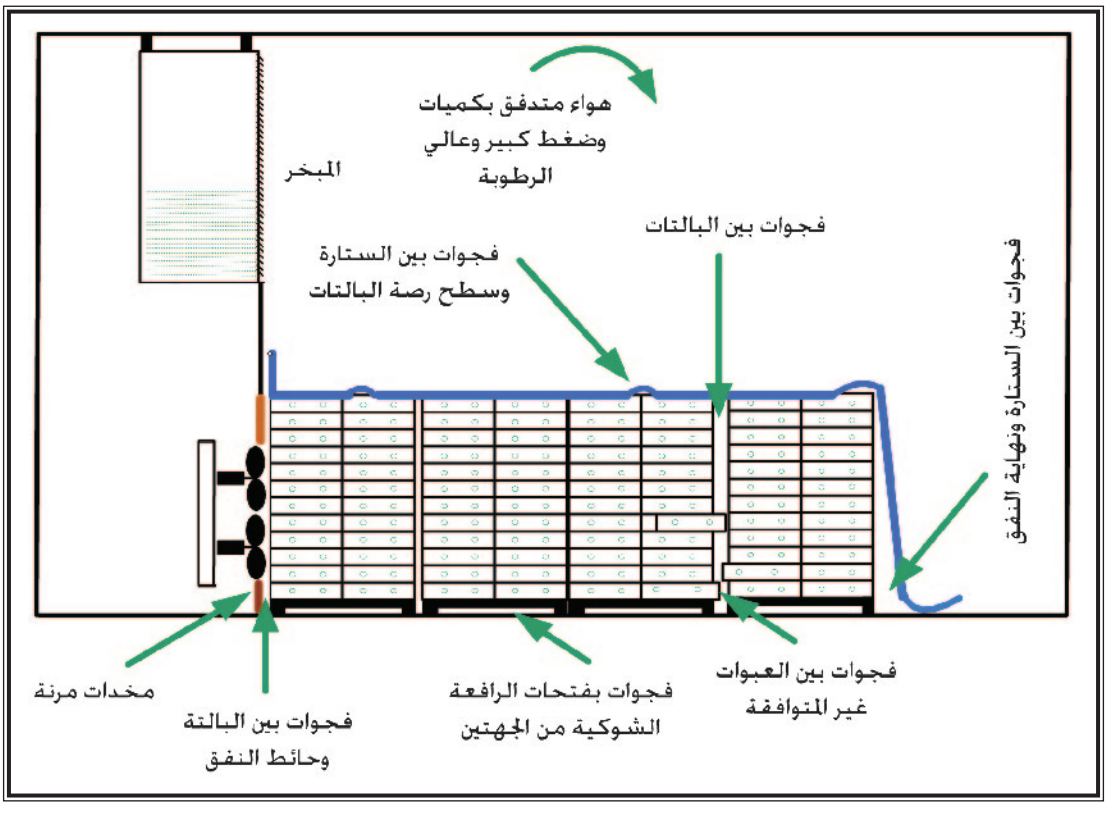
4- فوق البالتات يجب أن يتم تقوية الستائر البلاستيكية بقضبان معدنية ثقيلة تمنع حركة الستائر وتثبتها فوق صناديق المنتج لمنع أى فجوات.

5- يجب إختبار معدل هروب الهواء بصورة دائمة من خلال مانوميترأو جهاز لقياس الضغط الساكن (Static pressure gauge, or manometer).

6- لا يجب أن يتجاوز فرق الضغط المقاس عبر جانبي النفق 125 باسكال.

7- للحد من هروب الهواء يمكن تركيب قضبان من الفوم بين البالتات أو ألواح كرتون مضلع.

يوضح شكل (2.7 أ) نموذج لكل ما سبق الإشارة إليه حيث العبوات الغير ملائمة، الستائر الغير محكمة، الفجوات بين سطح المنتج والستارة، فتحات الروافع الشوكية الغير مغلقة. يعتبر هذا النموذج الموضح بالشكل مثلا شائعا في كثير من المحطات بالوطن العربي حيث يحتاج الأمر لتدريب وتوعية القائمين على عمليات تشغيل تلك الأنفاق. أيضا لابد من وجود المعدات وأجهزة التحكم الملائمة والتي تُمكن من متابعة أداء النفق طوال عملية التشغيل. يوضح شكل (2.7 ب) أهمية تجانس وتناسق عبوات المنتج وتطابقها سويا للحد من فقد الهواء المضغوط.




**شكل(2.7أ)**: نفق غير محكم للتبريد السريع بالهواء المضغوط.

يتم تقدير الحمل الحراري للمروحة كما يلي:

$$\text{قدرة المروحة} = \frac{p \times q}{100 \times \varepsilon}$$

قدرة المروحة المحسوبة هنا تكون بالكيلو وات، q تعبر عن كمية الهواء المدفوع بوحدات م$^3$/ثانية، p هي الضغط بوحدات الباسكال، ε هو كفاءة موتور المروحة ويكون في حدود 0.4-0.7 %.

**شكل (2.7ب)**: نفق غير محكم للتبريد السريع بالهواء المضغوط (Thompson, 2002).

**الأحمال الحرارية الأخرى**

تقدر الأحمال الحرارية الأخرى لعملية التبريد السريع بالهواء المدفوع بنسبة 20 % من الحمل الحراري للمنتج بينما توجد توصية أخرى بإستخدام 25 %. تشتمل تلك الأحمال الأخرى على العديد من المصادر والتي تعتبر ثانوية والتغير بها طفيف ولذا يمكن تقديرها كنسبة من حمل المنتج دون حدوث أخطاء جوهرية وهي تضمن ما يلي:

1- الحمل الحراري الناتج من تسرب الهواء من السقف، الجدران، والأرضيات.
2- الحمل الحراري الناتج من الإضاءة ووسائل النقل.
3- الحمل الحراري الحيوي (تنفس الثمار).
4- الحرارة الناتجة من مواد التعبئة.

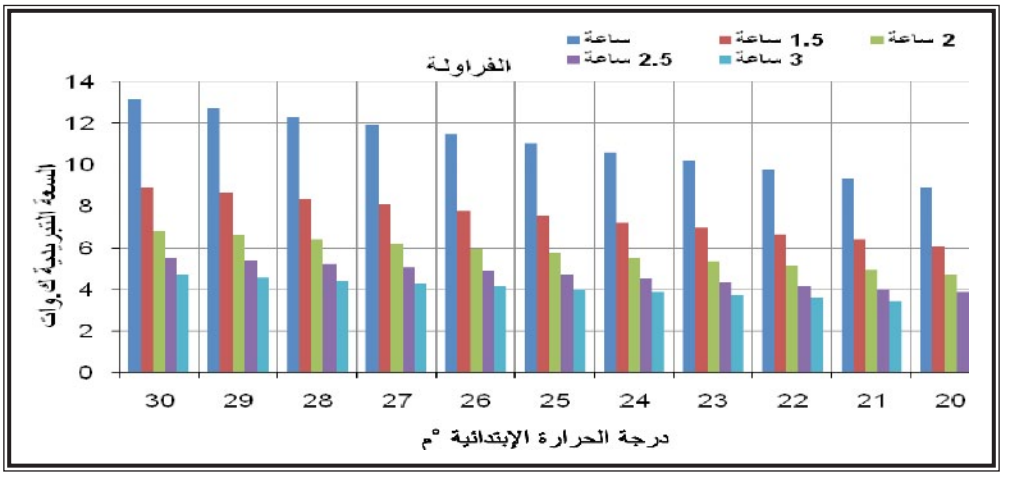
بناء على ما سبق يكون الحمل الحراري الكلي لعملية التبريد السريع كما يلي:

$$\text{الحمل الحراري الكلي} = \frac{W \times TD \times Cp \times CF \times 1.2}{(7/8) \times CT} + \frac{p \times q}{100 \times \varepsilon}$$

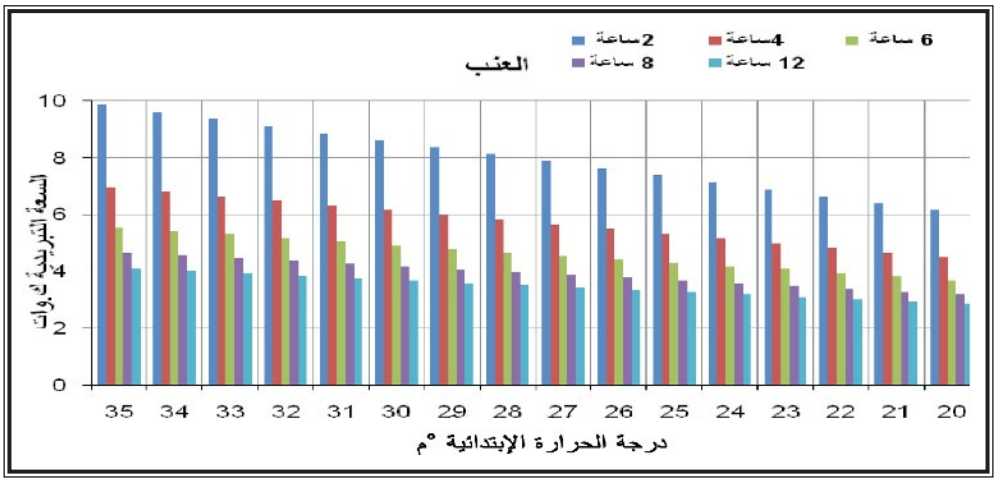
تم تطوير المنحنيات الموضحة بأشكال (3.7) إلى (7.7) وهي لكل من الفراولة، العنب، المانجو، القاوون، والفاصوليا الخضراء على التوالي بناء على المعادلة السابقة لتقدير السعات التبريدية (ك.وات)/ بالتة. ظروف إستخدام تلك الأشكال موضحة بجدول (4.7). بإستخدام المنحنيات يمكن معرفة السعة التبريدية المطلوبة لأى مشروع تبريد سريع للمنتجات السابقة وذلك بدلالة كل العوامل الواردة بالجدول وذلك لطريقة التبريد بالأنفاق أو الحائط البارد بدفع الهواء. أيضا وبنفس طريقة حسابات حمل التبريد السابقة تم تطوير جدول (5.7) حيث تم تقدير السعة التبريدية المطلوبة لكل بالتة بالطن التبريدي (طن تبريدي= 3.57 ك.وات) للفلفل الرومي، الكوسة، الخيار، الطماطم.

**جدول (4.7)**: حالات تطبيق منحنيات السعة التبريدية لكل بالتة كدالة في زمن التبريد السريع بالهواء المدفوع ودرجة الحرارة الإبتدائية.

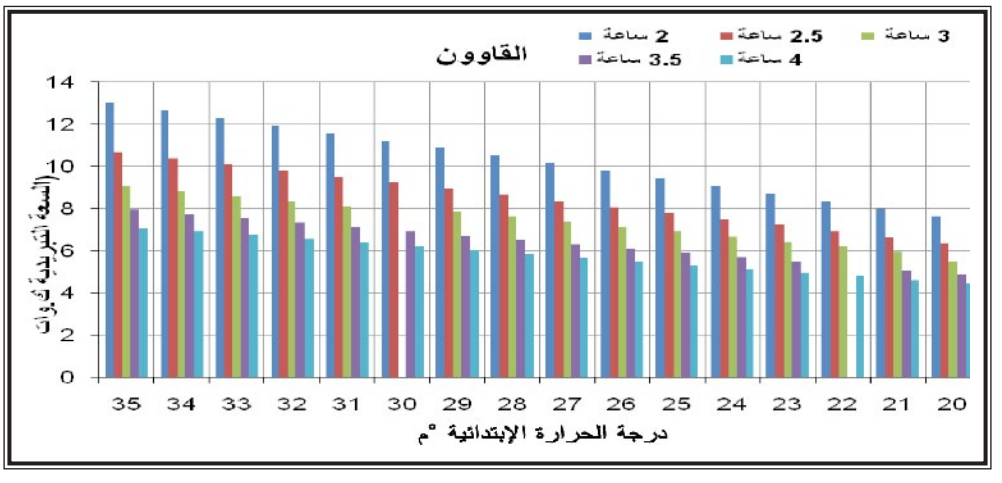
| الحالة | الفراولة | العنب | القاوون | المانجو | الفاصوليا |
|---|---|---|---|---|---|
| وزن العبوة (كجم) | 2 | 5 | 6 | 5.4 | 4 |
| عدد العبوات/البالتة | 96 | | | | |
| معدل مرور الهواء م$^3$/ثانية/كجم | 200.0 | | | | |
| الضغط الإستاتيكي (باسكال) | 573 | | | | |
| درجة الحرارة النهائية (°م) | صفر | 5.0 | 2 | 01 | 7 |
| مدى درجة الحرارة الإبتدائية (°م) | 51-03 | 02-53 | 02-53 | 02-53 | 51-03 |
| مدى زمن التبريد (ساعة) | 3-1 | 21-4 | 4-2 | 01-2 | 5.3-2 |



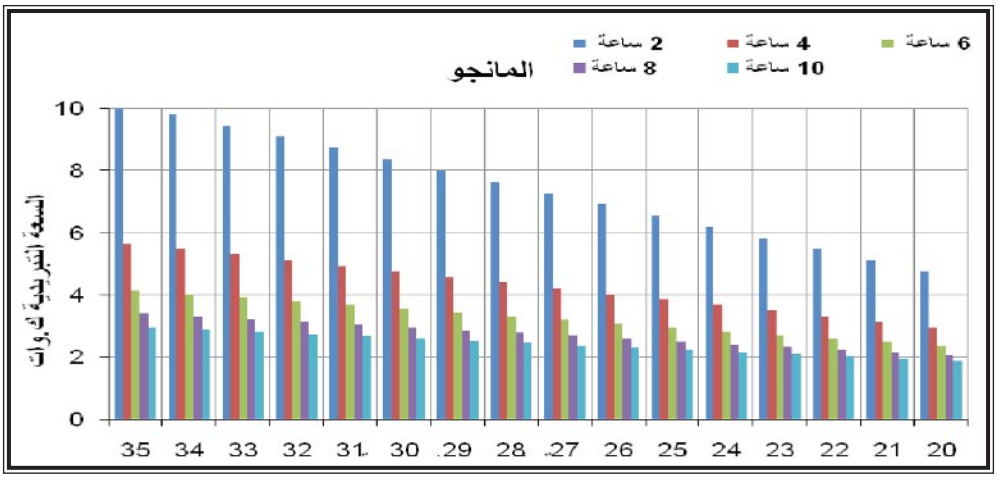

**شكل (3.7)**: السعة التبريدية لكل بالتة (96 صندوق/5كجم/صندوق) من الفراولة.



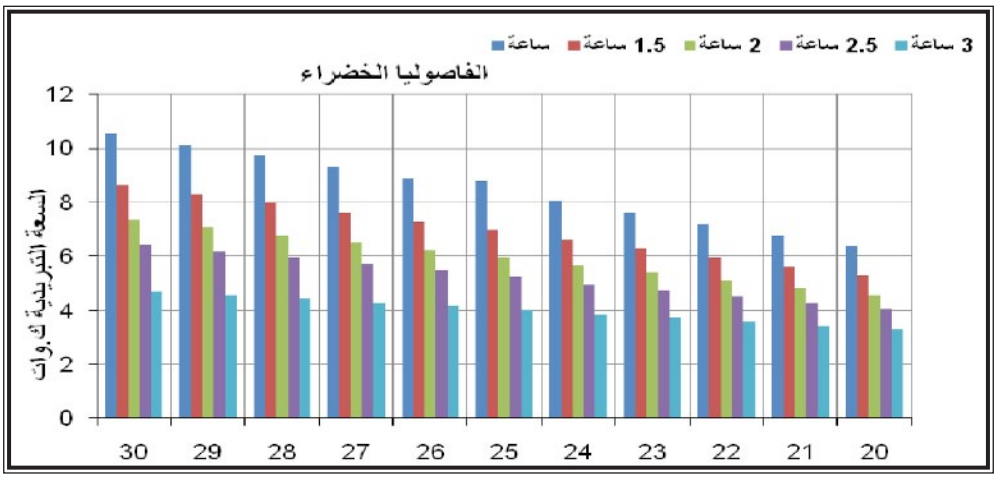

**شكل (4.7)**: السعة التبريدية لكل بالتة (96 صندوق/5كجم/صندوق) من العنب.




**شكل (5.7)**: السعة التبريدية للبالتة (96 صندوق/5كجم/صندوق) من القاوون.




**شكل (6.7)**: السعة التبريدية لكل بالتة (96 صندوق/4.5 كجم/صندوق) من المانجو.




**شكل (7.7)**: السعة التبريدية للبالتة (96 صندوق/4 كجم/صندوق) من الفاصوليا.

**جدول (5.7)**: السعات التبريدية لبعض أنواع مختارة من الخضروات.

| المنتج | الحرارة النوعية ك.جول/كجم/°م | درجة الحرارة الإبتدائية °م | درجة الحرارة النهائية °م | متوسط الوزن للبالتة (كجم) | متوسط زمن التبريد (ساعة) | السعة التبريدية (طن تبريدي/ بالتة) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| الفلفل الرومي | 3.92 | 27 | 10 | 540 | 2 | 1.4 |
| الكوسة | 3.97 | 27 | 10 | 900 | 3 | 1.6 |
| الخيار | 4.05 | 27 | 10 | 900 | 3 | 1.6 |
| الطماطم | 79.3 | 72 | 01 | 650 | 5.2 | 3.1 |

## مثال تطبيقي لحسابات السعة التبريدية

وفقا لشكل (3.7) كانت أقصى سعة تبريدية مطلوبة لبالتة الفراولة عند أقل فترة تبريد (ساعة واحدة) وأعلى درجة حرارة إبتدائية ( 30°م) 13.5 ك.وات (3.78 طن تبريدي). على إفتراض أن لغرفة تبريد سريع يراد أن ينشأ بها نفقين بدفع الهواء بكل نفق سبع بالتات فإن الحمل الحراري سيكون 182 ك.وات. هذا الحمل يعتبر مكلف لو لم يبرر ببقية العوامل التي سبق وأشرنا إليها. فبالرغم أن الأثر الإيجابي للتبريد السريع في أقصر وقت واضح في الحافظ على القيمة التسويقية للفراولة إلا أنه يجب أن تبنى التقديرات وفقا لساعات ذروة الإنتاج المتوقعة على أن تستخدم معدلات تبريد متوسطة. يتم توضيح ما سبق بنموذج عددي حيث سيتم إستخدام 3 ساعات لخفض درجة حرارة 11 بالتة ووفقا للظروف المشار إليها في جدول (4.7) بالإضافة لما يلي:

1- محطة تبريد سريع بدفع الهواء مكونة من نفقين.

2- كل نفق يستوعب 11 بالتة للفراولة (خمسة بكل جانب والأخيرة لغلق النفق في الجهة المقابلة للمروحة).

3- درجة الحرارة الإبتدائية للدفعة الأولى هي 21°م.

4- يتم تراكم حمولة النفق الأول وتشغيله في الساعة العاشرة صباحا.

5- دورة التبريد السريع تستغرق 3 ساعات (سبعة أثمان الزمن التبريدي) بحيث يتم خفض درجات الحرارة بكل ساعة بمقدار نصف الزمن التبريدي.

6- يبدأ تشغيل النفق الثاني في الثانية عشر ويكون النفق الأول في الثلث الأخير من دورته.

7- بالرجوع لشكل (3.7) وعند درجة حرارة إبتدائية 21°م ودورة تبريد 3 ساعات نجد أن السعة التبريدية المطلوبة هي تقريبا طن تبريدي لكل بالتة ومن ثم يكون الحمل التبريدي للساعة الأولى للحمولة كلها هي 11 طن تبريدي. في الساعة الثانية يتم خفض هذا الحمل بمقدار 50 % ليكون 5.5 طن تبريدي ويستمر الإنخفاض ليكون 2.75 طن تبريدي في الساعة الأخيرة.

8- يتم تحميل النفق الثاني بدفعة جديدة حيث تكون درجة حرارتها الإبتدائية هي 27°م (النفق الأول يكون في الثلث الأخير من سبعة أثمان الزمن التبريدي الخاص به).

9- بالرجوع لشكل (3.7) وعند درجة حرارة إبتدائية 27°م وزمن دورة تبريدية 3 ساعات يكون المطلوب تقريبا لكل بالتة 1.2 طن تبريدي (4.27 ك.وات) أى 13.2 طن تبريدي.

10- تستمر نفس الحسابات وكما هو موضح في جدول (6.7).

11- يتم تجميع السعات التبريدية عند التداخل وإعتبار أكبرها والتي تبلغ 18.125 طن تبريدي وتكون تلك هي السعة التي تصمم عليها المحطة وتُختار على أساسها معدات التبريد.

**جدول (6.7)**: خريطة تشغيل محطة تبريد سريع مكونة من نفقين لحساب السعة الكلية.

| الزمن | عدد البالتات | درجة حرارة المنتج الإبتدائية (°م) | الحمل الحراري لكل دفعة في المبرد السريع (طن تبريدي) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | العاشرة صباحا | الثانية عشر ظهرا | الثانية مساء | الرابعة مساء | السادسة مساء | الحمل الكلي |
| العاشرة صباحا | 11 | 21 | 11 | | | | | 11 |
| الحادية عشر | | | 5.5 | | | | | 5.5 |
| الثانية عشر | 11 | 27 | 2.75 | 13.2 | | | | 15.95 |
| الواحدة ظهرا | | | | 6.6 | | | | 6.6 |
| الثانية مساء | 11 | 30 | | 3.3 | 14.5 | | | 17.5 |
| الثالثة مساء | | | | | 7.25 | | | 7.25 |
| الرابعة مساء | 11 | 30 | | | 3.625 | 5.41 | | 18.125 |
| الخامسة مساء | | | | | | 7.25 | | 7.25 |
| السادسة مساء | 11 | 30 | | | | 3.625 | 14.5 | 18.125 |
| السابعة مساء | | | | | | | 7.25 | 7.25 |
| الثامنة مساء | | | | | | | 3.625 | 3.625 |

يراعى بناء محطات التبريد السريع بحيث تكون في غرفة منفصلة بحيث لا تؤثر دفعات المنتجات الجديدة على درجة حرارة المنتجات الجاري تبريدها أو كبديل عن هذا يتم عمل فواصل عازلة بين الأنفاق. يأخذ في الإعتبار إحتمالات التوسع المستقبلي بحيث يتم توفير السعات التبريدية المطلوبة والمحتمل إستخدامها في المستقبل. الطريقة السابقة لحساب الأحمال الحرارية لعملية التبريد السريع قد تم إستخدامها في بناء العديد من محطات التبريد السريع وكافة المنتجات السابق ذكرها حيث أثبتت فاعلية وجدوى لكل المحطات المنشأة في عدد من الدول العربية.

## غرف التبريد العادية ومخازن البطاطس

لتقدير السعات التبريدية الخاصة بغرف التبريد بطريقة سهلة وميسرة تكون مفيدة للمنتجين وأصحاب المزارع يمكن الإعتماد على الخبرة (rule of thumb) وعلى مشاريع مماثلة تم إقامتها بنجاح وتعتمد على الحجم الداخلي لحيز التبريد حيث يحتاج كل 1000م$^3$ لسعة تبريدية تبلغ من 10-14 ك.وات. هذا التقدير يراعي فقط حرارة التنفس الخاصة بالمنتج والأحمال الحرارية الأخرى ولا يتضمن حمل المنتج والمفترض أن يكون قد تم إزالته بعملية التبريد السريع. يلاحظ أن هذا الرقم يعتبر ضئيل لدول الوطن العربي نظرا لإرتفاع درجات الحرارة على مدار العام ولمحدودية محطات التبريد السريع. ومن ثم نوصي بـ 50 ك.وات/1000م$^3$ وهو نفس الرقم المستخدم من قبل لمخازن الخضروات والفاكهة. تتباين السعات التبريدية لمخازن البطاطس وفقا لدرجة الحرارة الإبتدائية ولمعدل تحميل غرف التبريد حيث وفي حال كانت درجة الحرارة الإبتدائية 20°م وكان معدل الخفض الكلي المطلوب يوميا 0.5°م وكانت درجة الحرارة النهائية المرغوبة هي 5°م فإنه يكون المطلوب إزالة هذا الحمل في غضون ثلاثون يوما. التقدير وفقا للخبرة والتجربة والتطبيق العملي يفيد بأن يمكن تقدير السعة التبريدية بـ 65 وات/طن. ربما إستخدمت قيم أقل كلما كانت الأجواء باردة وهو ما يحدث في دول شمال أوروبا مثل السويد حيث تستخدم 40 وات/طن. هذا يعني وفي حال مستودع مبرد للبطاطس يستوعب 930 طن محمولة في صناديق كبيرة (Bins) ويستوعب كل صندوق طن واحد من البطاطس ستكون السعة التبريدية الكلية المطلوبة هي 65 × 930 = 60.5 ك.وات. مع ملاحظة أن حجم هذا المخزن يكون 24 متر طول، 18 متر عرض، و6.5 متر إرتفاع. لبعض دول الوطن العربي حيث درجة حرارة الأجواء الخارجية مرتفعة على مدار العام وكذلك درجات الحرارة التي يتم حصاد البطاطس عليها فإنه يُنصح بأن تستخدم قيم في حدود 80 وات/طن ومن ثم تكون السعة التبريدية لنفس المخزن السابق هي 80 × 930 = 74.5 ك.وات مع العلم بأن هذا الرقم يتوقف على معدل تحميل المخزن حيث عادة ما تحمل تلك المخازن على إمتداد فترة زمنية طويلة وليست في وقت واحد ولذا يمكن لهذا الرقم أن يقل.

### الخلاصة

تم إستعراض أكثر الطرق العملية لتقدير السعات التبريدية لعمليات التبريد السريع حيث تم تطوير مجموعة من الجداول يمكن تطبيقها بدلالة درجة الحرارة الإبتدائية، زمن دورة التبريد لمنتج معين لتقدير السعة التبريدية لكل بالته. تم التطوير لكل من الفراولة، العنب، القاوون، المانجو، والفاصوليا الخضراء. لإنجاز عملية التبريد السريع يراعى إحكام النفق بسد كافة الفجوات حتى الصغيرة. يمكن تقدير السعة التبريديه لغرف التبريد العادية ولمشاريع مستودعات البطاطس بطرق تعتمد على التجربة والخبرة حيث يوصى بإستخدام 80 وات/طن للبطاطس في حين لغرف التبريد العادية يستخدم 50 وات/1000م$^3$.

## الفصل الثامن

# النقل المبرد

### الملخص

تشكل عملية النقل أحد الخطوات الهامه في تداول المنتجات سريعة التلف حيث يجب خلالها الحفاظ على الجودة عن طريق توفير درجة الحرارة والظروف الملائمة للحد من أى تدهور أو إصابات ربما يتعرض لها المنتج وتؤدي إلى فقد جودته و صلاحيتة. غالبا ما يتم النقل في العربات المكشوفة وذلك للأسواق المحلية حيث يمكن ومن خلال عدد من الإجراءات البسيطة توفير قدر من التهوية يمنع تراكم الحرارة على أن تكون مسافات النقل قصيرة بقدر الإمكان. النقل المبرد هو الخيار الأمثل حيث يجب أن تتوافق عبوات المنتج مع طريقة دفع الهواء في الشاحنة وأيضا يجب أن يكون المنتج على درجة الحرارة المناسبة عند التحميل. يجب التحقق من العديد من العناصر عند التحميل وبعد التحميل حتى نضمن توفر الظروف المثلى لعملية النقل. الشحن البحري من أرخص طرق النقل للأسواق البعيدة و خاصة عند التصدير. توجد عدة طرق لرص المنتجات والتي يجب أن تكون ثابتة بداخل الحاوية أثناء النقل لمنع حركتها. الشحن الجوي يستخدم للمنتجات ذات القيمة النقدية العالية. في هذا الفصل سيتم مناقشة جميع طرق النقل الممكن تطبيقها في المنطقة العربية مع التوصية بكيفية استخدام أفضل تلك الطرق.

### مقدمة

يعتبر النقل المبرد حلقة هامة من حلقات سلسلة التبريد لذا يجب المحافظة على درجة حرارة المنتجات سريعة التلف عند مستوى معين وذلك من خلال عملية النقل في الشاحنات، الحاويات، أو الأجواء المبردة ونظراً لأن معظم الحاصلات سريعة التلف تتطلب التبريد مباشرة عقب عملية الحصاد ومن ثم فيجب الحفاظ عليها باردة في خطوات التداول التالية ومنها النقل. وبصورة عامة تُنقل المنتجات سريعة التلف من مناطق الإنتاج لمناطق الإستهلاك بنظم نقل مختلفة وفقا للعديد من العوامل والظروف. ففي بعض الدول تستخدم خدمات السكك الحديدية المبردة ولكن في كثير من المناطق يعد النظام الأكثر انتشارا هو النقل في عربات الطرق المبردة. في حالة التصدير غالبا ما تستخدم حاويات البحر المبردة أو السفن المبردة لما لها من مميزات عديدة سيتم التعرض لها لاحقاً. تستخدم الطائرات لمنتجات محددة مثل زهور القطف والمنتجات عالية القيمة النقدية. أيضا وفي بداية موسم الحصاد ولمنتجات محددة مثل العنب المحصود مبكراً يكون النقل بالطائرات مجديا حيث تكون الأسعار في الأسواق الخارجة مغرية. لاتعتبر درجة الحرارة هي العامل الوحيد الواجب مراعاته في أثناء عمليات النقل بل يجب أيضا العمل على التقليل من الإصابات الميكانيكية التي يمكن أن تتعرض لها الحاصلات البستانية أثناء نقلها وذلك من خلال مواد تعبئة ملائمة، الحد من الإهتزازات، وتطبيق طرق رص سليمه.

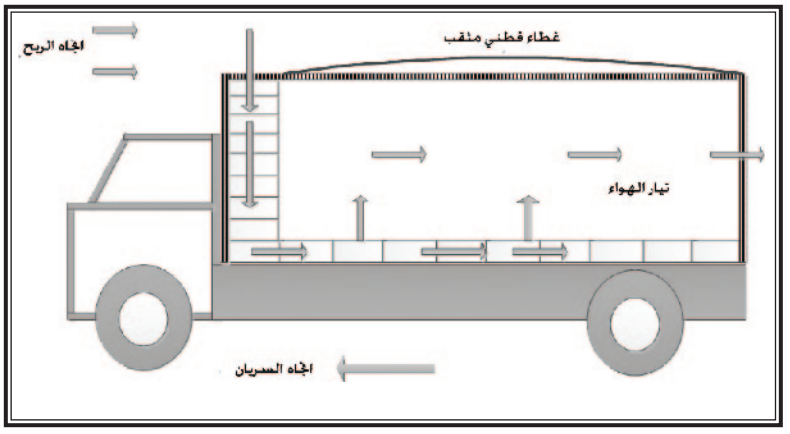
توجد العديد من طرق نقل المنتجات سريعة التلف مثل النقل النهري وبالسكك الحديدية لكن الأكثر شيوعا هو النقل البري من خلال العربات المبردة أو النقل البحري من خلال الحاويات أو السفن المبردة. السبب في ذلك يرجع لغياب الممرات المائية الملائمة في البلدان العربية وفي حال وجودها فهي تفتقر للبنية الأساسية الملائمة لتلك الطريقة من النقل وكذلك الحال بالنسبة للنقل بالسكك الحديدية والتي يجب أن تتوافق مع طرق النقل البري والموانئ البحرية سواء للنقل الداخلي أو بغرض التصدير.

يبلغ الفاقد أثناء عملية النقل من الحقل أو محطات التعبئة للأسواق نسبة كبيرة تتجاوز حتى 40 % للخضروات وذلك بفعل النقل غير المبرد وبسبب غياب سلسلة التبريد في حين من الممكن أن ينخفض هذا الفقد إلى 5 % في حال تم الحفاظ على سلسلة التبريد. للحفاظ على الجودة أثناء عملية النقل توجد العديد من الأعتبارات الواجب مراعتها مثل درجة الحرارة والرطوبة النسبية وطرق التعبئة. غالبية وسائل النقل لا توجد بها وسائل ملائمة للحفاظ أوالتحكم في نسب عالية من الرطوبة ومن ثم يجب أن توفر العبوات حماية جيدة ضد عمليات الجفاف وفقد الماء سواءا في النقل البري، البحري، أو الجوي. في النقل الجوى عادة ما تكون نسب الرطوبة متدنية جدا.

بعض حاويات النقل البحري توجد بها إمكانية الحفاظ والتحكم بنسب رطوبة عالية. في تلك الظروف ولمنع تكوين الثلج يجب أن تكون درجة الحرارة أعلى من الصفر المئوي. فيما يلي سيتم التعرض تفصيليا لأكثر الأنواع شيوعا من سبل النقل مع مناقشة الجوانب التقنية الخاصة بكل وسيلة والتوصيات الواجب مراعتها للحفاظ على أفضل جودة ممكنة ولإطالة العمر التسويقي للمنتجات المنقولة.

## النقل في العربات المكشوفة

في بعض الأماكن غير الحضرية لا تتاح خدمة النقل المبردة أو أن عملية إستخدامها ليست ذات جدوى إقتصادية حيث لا يبرر حجم الكميات المنقولة إستخدامها ومن ثم لازالت معظم الخضروات والفاكهة التي تُسّوق محليا يتم نقلها بواسطة العربات المكشوفة (شكل 1.8) حيث يتم رص العبوات المختلفة وتسويقها بأسواق الجملة أو توزيعها على محلات التجزئة. تعتبر تلك الطريقة سهلة، مريحة، وإقتصادية لغالبية المشتغلين في مجال الخضروات والفاكهة. في غالبية الأحيان يتم تداول تلك المنتجات بأقصى سرعة ممكنه للحد من أى فقد بسبب غياب سلسلة التبريد. طبيعة النقل بتلك الوسيلة تؤدي لزيادة نسبة الفاقد أو التلف بفعل تعرضها للحرارة والهواء بشكل مباشر أو نتيجة تعدد نقلها من سوق إلى سوق بسبب تعدد أحجام وأشكال الصناديق والعبوات الأخرى مما يعمل على تدهور جودة المنتج أثناء النقل بسبب عدم تنسيقها بشكل مناسب. أيضا يلاحظ أن صغر الحيازة ومحدودية الإنتاج الفردي تعني أن معظم المزارعين والتجار ليس لديهم علاقة مع شركات التخزين والتبريد مما يزيد صعوبة نقل هذه المنتجات وخاصة في ذروة الإنتاج وهذا لا يساعد على حصول المزارع أو المُنتج على أسعار مناسبة في كثير من الأحيان.




**شكل (1.8)**: نقل المنتجات سريعة التلف بطريقة محسنة بالعربات المكشوفة غير المبردة.

يجب عدم الملئ الزائد للعربة حيث أنه في تلك الطريقة يجب الحرص على بعض الإجراءات بغرض الحد من الفواقد الناتجة بفعل العوامل المختلفة مثل الإصابات الميكانيكية وإرتفاع درجة الحرارة والأهتزازت التي يتعرض لها المنتج أثناء عملية النقل. في حال النقل للمنتجات الصب يجب مراعاة تفادي الإصابات الميكانيكية أثناء التحميل ويمكن وضع بعض المواد الحامية بين الطبقات مثل ما يحدث عند نقل الموز. للمنتجات الورقية على سبيل المثال يمكن تغطيتها بأغطية قطنية فاتحة اللون مُنفذة والحرص دائما على ترطيب تلك الأغطية (شكل 2.8). من المهم أن يكون الغطاء له دعامة تثبيت فوق المنتج ليسمح بكمية هواء خارجي صغيرة بالسريان بين الغطاء وبين المنتج حيث تزيل التهوية الحرارة المتراكمة تحت الغطاء وتُصنع تلك الأغطية من أقمشة ذات خامات نباتية. تبطن جوانب وأرضيات الشاحنة بطبقة من القش أو الأجولة للحد من الإصابات الميكانيكية ويتم عمل سقف بإطار لحماية الحمولة من الشمس في حين يمكن تغطية الجوانب بالقماش المُثقب. يجب أن يتجاوز إرتفاع المحاصيل المعبأة لمستوى أعلى من كابينة السائق لضمان مرور الهواء بين الغطاء والمحصول غير أنه وفي حالة زيادة السرعة أثناء النقل أو في حالة طول المسافة فمن المتوقع زيادة الفقد في الماء بفعل إرتفاع معدل التهوية بتلك الطريقة. بعض المنتجات سريعة التلف والشائع نقلها في عربات مكشوفة هي البطاطس والبصل (شكل 3.8) حيث يتم نقلها من مراكز التوزيع المبردة داخل المدينة لمصانع البطاطس في المناطق الصناعية.

ولتقليل الفواقد الميكانيكية يمكن أيضا وضع فواصل بين رصات المنتج وجدران تلك العربات. يمكن لتحقيق ذلك إستخدام بعض الصناديق البلاستيكية الفارغة لملئ الفراغ الخلفي ولمنع الحمولة من الحركة أثناء النقل. يراعى أيضا عدم الوقوف على حمولة تلك العربات بأى حال من الأحوال وأن تكون الرحلات ليلا وبأقصر ما تكون وعلى أفضل الطرق الممكنة الناعمة وغير

الوعرة حتى لو كانت قصيرة المسافة وذلك بهدف الحد من الإهتزازات. يمكن أيضا إتباع طريقة معينة في الرص للإستفادة بتيار الهواء البارد ليلا في إحداث أثر تبريدي على رصات عبوات المنتج (شكل 1.8). يفضل أيضا أن تستخدم العربات ذات العوارض الخشبية الجانبية (شكل 2.8) والتي عادة ما توجد بينها فراغات تساعد في عمليه التبريد والتهوية والتخلص من حرارة تنفس المنتجات. في حال أمكن ذلك يمكن ترك مررات بينية للمساعدة في عملية التهوية والتبريد. السرعات العالية أثناء النقل ولمسافات طويلة تؤدي لحدوث الكثير من فقد الماء من المنتجات سريعة التلف وذلك بفعل أشعة الشمس وتيارات الهواء الجاف لذا يجب تجنب ذلك. بصفة عامة يجب إتباع طرق رص منظمة للعبوات بحيث يسمح بمرور التيار الهوائي حول المنتجات أثناء النقل ويساعد على دعم ثبات العبوات وتقليل الإهتزاز ما أمكن ذلك.

**شكل (2.8)**: عربات مكشوفة لنقل الخضروات والفاكهة.

يمكن تطوير عربات نقل مبردة إقتصادية يمكن جرها من خلال أى وسيلة ملائمة حيث تُصنع من صندوق معزول ووحدة تكييف تستمد قدرتها من مولد مثبت خارج الصندوق حيث تلائم تلك الوحدة الحمولات الصغيرة والأقل من 4-6 طن للرحلات القصيرة بصفة خاصة وتناسب أيضا عمليات التوزيع. تبلغ تكلفة تلك العربات أقل من 10 % من تكلفة الشاحنات المبردة التقليدية حيث أن حجمها الصغير يسمح لها بعمل العديد من الرحلات اليومية.

**شكل (3.8)**: نقل البصل في عربات مكشوفة في السعودية.

## عربات النقل المبرد الخاصة بالطرق السريعة

يوجد العديد من نظم النقل المبرد بإستخدام العربات المبردة للطرق السريعة غير أن أكثرها شيوعاً تلك العربات نصف المقطورة والتي تُسحب بواسطة عربة جرار أو قاطرة قوة تمدها بالحركة اللازمة وتُشبك بمقدمة المقطورة وتسمى أحينا بالرأس. في بعض الأحيان تجهز عربات السكك الحديدية لحمل تلك المقطورات لجزء من مسافة الرحلة وحينئذ تنقل من المحطة المركزية للقطارات للجهة النهائية من خلال جرار طرق سريعة، يسمى نظام الشحن هذا في بعض الأحيان (مقطورة على عربة مسطحة). في الدول العربية مترامية الأطراف تستخدم مقطورات الطرق السريعة لرحلات تستغرق حوالي 1-3 أيام. وبصورة عامة، فالتصميم الجيد للشاحنات يعني إستجابتها وتوافقها مع كافة متطلبات تداول الخضروات والفاكهة مثل عملها في ظروف مناخية متباينة والتحكم الجيد في مدى محدد من درجات الحرارة. توجد أحجام مختلفة للعربات المبردة حيث يوضح شكل (4.8) أحجام صغيرة ومتوسطة بينما الشاحنات الكبيرة (شكل 5.8) غالبا ما يكون لها عرض خارجي يبلغ 2.4 إلى 2.6م. يمكن من خلال سمك الجدران العازلة توفير عرض داخلي أكبر لتسهيل دخول وخروج الروافع الشوكية خلال عملية تفريغ وتحميل طبليات المنتج. في بعض التصميمات يستخدم البولي يوراثان لصنع السقف وبسمك 10سم، في حين يستخدم البوليستيرين للجوانب أو الجدران نظراً لخواصه الميكانيكية الملائمة وبسمك أقل (8 سم) ليكفي العرض الداخلي لرص بالتتين وبصورة مرنة بالإضافة لترك الفراغات الملائمة لتدوير الهواء حول العبوة. يبلغ إرتفاع تلك الشاحنات 3.7 إلى 4.1 م.

**شكل (4.8)**: شاحنات مبردة بأحجام صغيرة ومتوسطة.

تتباين أطوال الشاحنات من 12.2 إلى 16.2م ويتراوح الحجم الداخلي لها من 70 إلى 100م$^3$، في حين يجب ألا يتجاوز الوزن الإجمالي للشاحنة (بما فيه القاطرة) الوزن المحددة وفقا لقوانين المرور المعمول بها. فمثلاً، في الولايات المتحدة الأمريكية يجب ألا يتجاوز وزن الشاحنة 36.287 طن. أيضاً يوجد لوزن المحاور الفردية حد معين يهدف لضمان التوزيع المتجانس أو المنتظم لوزن العربة. غالبية العربات نصف المقطورة لها سعة حمولة تبلغ 18 إلى 20.4 طن وفقا لكثافة المنتجات وطريقة تعبئتها ووفقا لنظام الرص. يلاحظ أن كمية الوقود في المولد والشاحنة يمكن أن يكون لها تأثير واضح على الحمولة النهائية للمنتج . اللتر الواحد من وقود الديزل يزن 0.85 كجم . الحاوية المزودة بمولد مثبت عليها غالباً ما تتطلب عدد أقل من الطبليات أو البالتات المملوءة والتي تُحمل في الصفوف الأولى لكي تتوافق مع حدود الوزن الواقع على المحور. يفضل الحصول على الوزن الأقصى للحمولة من شركة النقل وبدون هذه المعلومات يجب ألا يتجاوز الحمل الوزن الآمن.

يتم عمل وحدات التبريد من خلال محركات تعمل بالديزل أوالكهرباء حين تكون على أرصفة الشحن، ويمكن أن تعمل أيضا بواسطة مولدات الكهرباء التي تغذى بالديزل. يكون عادة لتلك العربات أبواب مفصلية بنهاية الشاحنة في حين يكون لها أبواب إضافية جانبية تهدف لسهولة الوصول للحمولة الداخلية. يمكن إستخدام أبواب منزلقة لأعلى في حال إستخدام تلك الشاحنات للتوزيع على محطات متعددة.

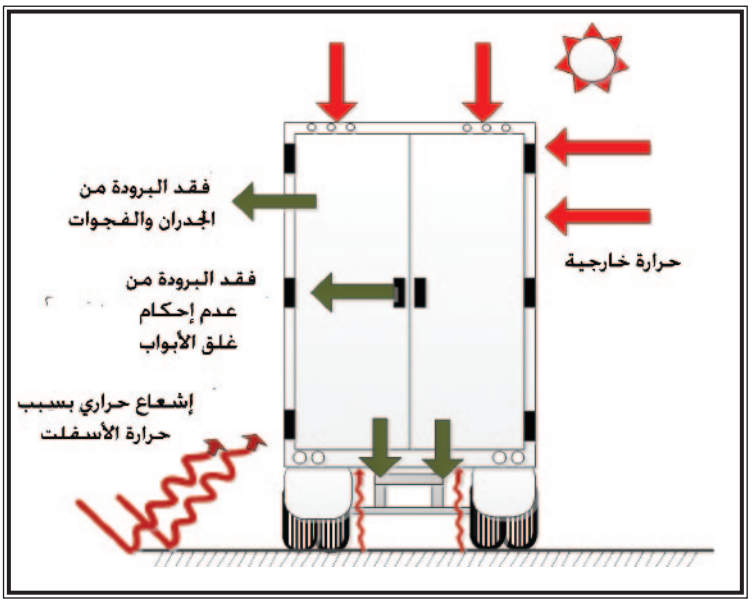
**شكل (5.8)**: شاحنات مبردة كبيرة الحجم.

يتم توفير السعات التبريدية المطلوبة لعربات النقل المقطورة من خلال نظام تبريد مستقل يعمل بمحرك ذاتي منفصل وبنظام التبريد الميكانيكي ذو التمدد المباشر الذي يوفر الأجواء الملائمة لحمولة المنتج في حيز العربة المعزول. يجب أن تكون السعات التبريدية كافية للتخلص من الحرارة المتسربة لداخل العربة من خلال الجدران والأسقف والأرضية وكذلك الحرارة المتسربة بفعل فتح الأبواب. في نفس الوقت فإن قدرة وحدات التبريد تلك ليست إزالة الأحمال الحرارية الكبيرة للمنتجات التي لم تبرد تبريدا مبدئيا أو تبريد سريع وبالتالي لابد وأن تكون المواد المنقولة قريبة من درجة الحرارة الموصى التخزين أو النقل عليها وذلك قبل عملية التحميل. في غالبية الدول العربية ولمعظم العام تكون درجات الحرارة الخارجيه عالية ومن ثم يجب إعتبار هذا عند إختيار وحدات التبريد على عكس الدول الأوربية والتي يلزم وبفعل إنخفاض درجات الحرارة الخارجية أن يقوم نظام التحكم في الحرارة بتلك العربات بتسخين المنتجات لمنع تجمدها. بمعنى أخر فإن أداء وحدة التبريد للعربة يختلف وفقا لدرجة حرارة الأجواء الخارجية، حيث تنخفض السعة التبريدية بإرتفاع درجة الحرارة الخارجية بفعل زيادة

درجة حرارة التكثيف والعكس صحيح. وبالتالي يمكن للوحدة أن تضيف سعة تبريدية إذا ما كانت المقطورة في ظروف جوية أبرد من درجة الحرارة المطلوب الضبط عليها. تقع وحدة التبريد على السطح الأمامي للمقطورة وتزود قناة أو أنبوب في أعلى المقطورة بالهواء المبرد ليمر فوق المنتج ثم لخلف الشاحنة أو رصات المنتج ثم يسحب من أسفل عبوات المنتج للأمام مرة أخرى.

توجد ثلاث مصادر للحرارة (شكل 6.8) يجب فهمها جيدا وذلك بغرض الإختيار الأفضل لوحدات تبريد العربات المبردة. إنتقال الحرارة بالتوصيل عبر جدران الشاحنة هو المصدر الأول ويمثل الحمل الحراري الأكبر الذي تعمل وحدة التبريد على التخلص منه. في معظم الدول العربية تكون درجة حرارة الطرق عالية جدا مقارنة بدرجة حرارة الجو ومن ثم وخاصة في فصل الصيف يكون الإشعاع الصادر من تلك الطرق أسفل العربة مصدر كبير من المصادر الحرارية التي يجب الحد منها من خلال الوقوف في الأماكن المظللة والنقل ليلا بالإضافة لجعل الرحلات قصيرة بأقصى قدر ممكن. المصدر الثاني تسرب الهواء من أي فتحات غير محكمة أو أثناء الفتح والغلق لأي سبب لداخل المقطورة أو الشاحنة. في بعض الأحيان يمكن لهذا العامل وفي ظروف التشغيل السيئة أن يكون خمسة أضعاف الحمل الحراري الناتج بفعل التسرب عبر الجدران. المصدر الثالث هو الحرارة المتولدة من المنتجات نفسها نتيجة لعملية التنفس. يضاف للأحمال السابقة بعض السعات الإضافية لتمثل في مجموعها السعة التبريدية الكلية الواجب على وحدة التبريد توفيرها.

تتباين السعة التبريدية لوحدات التبريد المصاحبة لعربات النقل المبردة، عادة ما تتراوح من 12.3 إلى 16.4 ك.وات (3.5 إلى 4.7 طن تبريدي). تتم عملية الإختيار للوحدة الأنسب من خلال عوامل التصميم المختلفة والمتعارف عليها في هذا المجال. على سبيل المثال، مدى التذبذب المسموح به في درجة الحرارة وكذلك المدى المطلوب توفيره من الرطوبة النسبية.

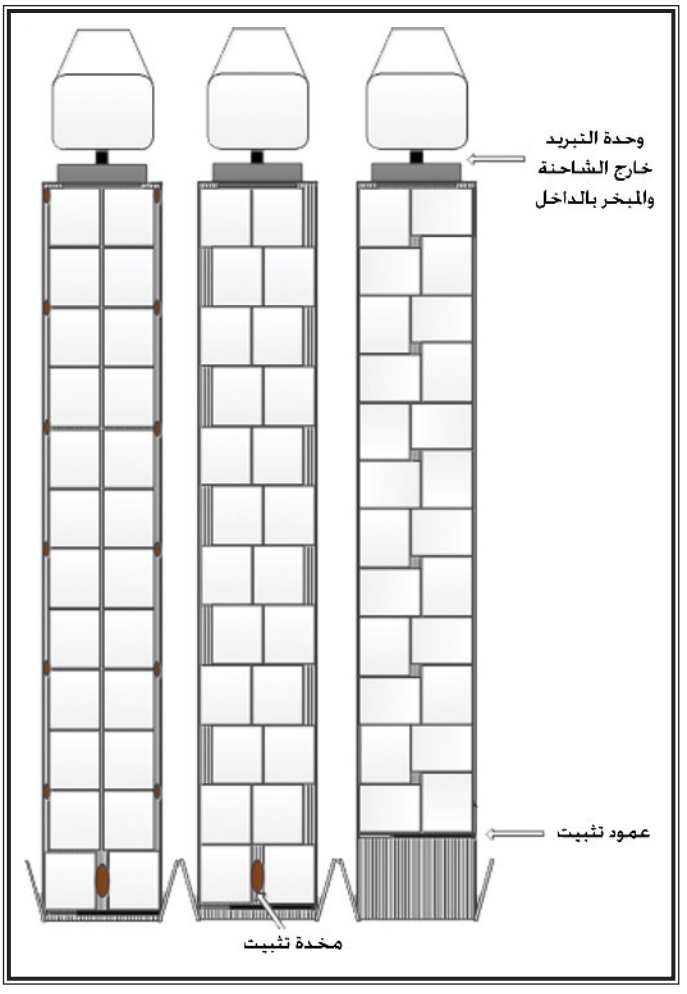



**شكل (6.8):** المصادر الحرارية المختلفة للشاحنات المبردة.

وحدات التبريد الحديثة عادة ما تعمل بمحرك ديزل منفصل وتعمل أيضا بالكهرباء وعادة ما تعلق وحدة التبريد أعلى مقدمة الشاحنة حيث تحتوي على الضاغط والمكثف في حين يكون المبخر ومروحته بداخل الحيز المعزول للشاحنة. عادة ما يكون هناك طريقتان لتشغيل وحدات التبريد للشاحنات وهي الحالة المستمرة والحالة الأوتوماتيكية. في كلا الحالتين يعمل الضاغط بصفة مستمرة في حين تعمل المرواح بصورة دورية في حالة التشغيل الأوتوماتيكي حيث يفضل ضبط الشاحنة للعمل على الحالة المستمرة للمنتجات سريعة التلف وذلك لقدرة تلك الحالة على الحفاظ على درجة الحرارة عند الحدود المسموح بها. غير أن تلك الطريقة تعتبر أكثر إستهلاكا للطاقة. نظم التحكم لوحدات التبريد الحديثة تُمكن السائق من متابعة أداء الوحدة أوتوماتيكياً وتنبه السائق لأى أعطال، كما تقوم بتسجيل أداء كافة عناصر نظام التبريد وخاصة درجة الحرارة والرطوبة النسبية لفترات زمنية يمكن تحديدها. يمكن أيضاً لهذه الوحدات تحديد عدد مرات والفترات الزمنية التي أستغرقتها عملية فتح أبواب الشاحنة. يمكن أيضاً لتلك الأنظمة نقل المعلومات والبيانات للأقمار الصناعية والتي تمررها لمراكز التشغيل في الشركات، حينئذ يمكن للشركة أن تحدد موقع المركبة وأداء النظام وأن تحافظ على إشراف جيد لكل الحمولات على الطريق. هذا النظام يسمح أيضاً للشركات بضبط الثرموستات لأقرب ظروف مثلى دون الخوف على حمولة الشاحنة.

يجب ملاحظة أن الإختيارات لوحدات التبريد في عربات الشحن المبردة تكون محدودة. يوجد مدى ضيق للإختيار وذلك في حال شراء وحدات جديدة. في حال تأجير الوحدات أو العربات فيكون المدى أضيق. بناء عليه يكون الحل الأمثل للحفاظ على سلسلة التبريد ومن ثم جودة المنتج وعمره التسويقي من خلال العناصر التشغيلية الأخرى مثل التبريد السريع، التعبئة الملائمة، الرص الجيد، والتحميل وفقا للتوصيات المتعارف عليها في هذا الإطار والتي سيتم التعرض لها سابقا. من الأهمية بمكان معالجة أى فجوات أو شقوق في عزل صندوق وحدة التبريد للحد من فقد السعات التبريدية ولتحسين أداء وحدة التبريد. أيضا من العوامل الهامة لزيادة كفاءة وحدات التبريد هو أن تكون جدرانها من النوع الفاتح اللون والعاكس حيث أن تعريضها أثناء الوقوف لفترات طويلة لأشعة الشمس يقلل من السعة التبريدية المتاحة لتبريد المنتج بحوالي 20 %. أيضا تحميل المنتج عند مركز المقطورة يحد من عملية الكسب الحراري وإرتفاع درجة الحرارة التي يمكن أن تتعرض لها عبوات المنتج من خلال ملامسة الحوائط أو الجدران. مثال على ذلك شحنة فراولة تم تبريدها مبدئياً إلى درجة حرارة 1.7°م حيث تمت عملية التبريد السريع بصورة منفصلة قبل عملية النقل وشحنت وتم ضبط درجة حرارة المقطورة على نفس درجة حرارة الثمار وحين تم وصولها إلى النقطة النهائية إستغرقت الرحلة 5 أيام وكان متوسط درجة حرارة ثمار الفراولة عند مركز الشاحنة 3.9°م، أما الثمار الملاصقة لجدران الشاحنة فكان متوسط درجة حرارتها 5°م. أعلى درجة حرارة للثمار عند المركز بلغت 5°م في حين الملاصقة للجدران بلغت 6.7°م.

تم تطوير نظام لتوصيف قدرة الشاحنة المبردة على الحفاظ على درجة الحرارة التصميمية الخاصة بها، حيث طورت هيئة أو مؤسسة النقل المبرد بأمريكا الشمالية RTF نظام تصنيف للمقطورات المعزولة ووحدة التبريد لها. تصنف المركبات وفقا لهذا التصنيف لأربعة رتب من درجات الحرارة ومدى قدرتها على أن تنقل بفاعلية المنتجات في درجة الحرارة تلك. يوضع ملصق أو لوحة معدنية خارج وداخل المقطورة لتوضيح مدى درجات الحرارة التي تعمل عليه والخواص التصميمية الأخرى للمركبة. معظم الفاكهة والخضروات سريعة التلف يجب شحنها في مقطورات رتبة C35 على الأقل، والتي تحافظ على درجات حرارة أعلى من 2 °م والمزودة بمجرى أو قناة هوائية وحاجز أمامي. ويتضح من هذا التصنيف ملائمة كل الشاحنات لنقل المنتجات سريعة التلف فيما عدا الشاحنات المنتمية لدرجة أو تصنيف C65 حيث أن درجة الحرارة التي تحافظ عليها هي أعلى من 18 °م. يمكن تطبيق هذا النظام في الدول العربية حيث تسهل عمليات تشغيل تلك العربات.




**شكل (7.8)**: طرق مختلفة لتحميل الشاحنات المبردة.

توجد طرق محددة لتحميل الشاحنات بحيث نضمن تأمين العبوات أو الرصات، وأن يكون هناك فراغ محيط بالمنتج لتدوير الهواء وسريانه بين البالتات والحوائط وأسفل المنتج ومن ثم يصل في النهاية لوحدة التبريد من خلال المجرى أو القناة المخصصة لذلك في مقدمة المقطورة أو الشاحنة وفقا لشكل (7.8). الغرض من ترك القنوات بين البالتات وجوانب الشاحنة هو

التوزيع المتجانس لهواء التبريد من خلال إستكمال دورة مروره وتعرضه لكامل حمولة حيز التبريد. هذا التصميم أيضا يسمح للهواء المبرد أن يتقاطع مع الحرارة قبل أن يؤثر على المنتج. نظم التبريد الخاصة بعربات النقل أو الشاحنات المبردة سواء ذات التدفق العلوي أو السفلي للهواء ليس لها خواص أو سعات تبريدية أو نظم تدفق هواء تمكنها من إزالة أو سحب حرارة الحقل من غالبية المنتجات، ولذا لا تعد بديلاً عن أي من طرق التبريد المبدئي أو السريع. تستخدم أقضاب معدنية أو مخدات هوائية لتثبيت المنتج ومنع تحركه أثناء عملية النقل.

تمثل عملية الفقد في الوزن والجفاف التي تتعرض له المنتجات أثناء عملية النقل مشكلة حقيقية. حيث عادة لا يتم التحكم في الرطوبة النسبية في المقطورات المبردة، مما ينتج عنه في حال كانت الرحلة لمسافات بعيدة وتستغرق زمناً كبيراً فقد في الجودة يؤثر على القيمة التسويقية لتلك المنتجات. يوجد لدى بعض مصنعي الشاحنات المبردة معدات لترطيب الهواء وذلك من خلال ترذيذ الماء وبصورة مباشرة على عبوات المنتج غير أن عملية الترذيذ هذه تؤثر على متانة العبوات الكرتونية نظراً لإمتصاص تلك العبوات للماء المرذذ. يمكن من خلال الإختيار الجيد لوحدة التبريد المصاحبة وبعض الإجراءات الأخرى الوصول لمستويات مقبولة من الرطوبة النسبية تكون حلاً وسطاً توفيقياً يراعي خفض الفاقد في رطوبة المنتج والحد من إضعاف العبوات الكرتونية. فمثلاً، يمكن الحد من فقد الرطوبة من خلال تعبئة المنتجات في مغلفات بلاستيكية تكون عادة وفقاً للحجم المرغوب من قبل المستهلك (عبوات المستهلك). يسمح هذا بخفض الفقد في الرطوبة وفي نفس الوقت يسمح لأنظمة التبريد أن تعمل عند رطوبة منخفضة دون أن تتأثر متانة العبوات الكرتونية. يجب أيضاً إختيار العبوات الكرتونية بحيث تتحمل عملية التخزين والظروف الصعبة لفترات لا تقل عن عدة أسابيع ويمكن أيضاً إستخدام الصناديق الكرتونية المعالجة بالطبقة الشمعية.

غالبا ما يكون الماء المرذذ غير معالج وربما يؤدي لإنتشار الأمراض ومن ثم يؤثر ذلك على الثمار المنقولة في حال طالت الرحلة. مشكلة أخرى ربما تواجهها أنظمة الترطيب وهي أن الماء سيتم تجمده إذا ما كانت درجة حرارة الهواء المحيط قريبة من الصفر، ولتجنب ذلك ينبغي ضبط الثرموستات على درجة حرارة أعلى من الدرجة الملائمة لتبريد الفاكهة والخضروات الموسمية في حال كانت تلك الدرجة تسبب تجمد الماء. أما إذا كانت المنتجات المنقولة غير حساسة لفقد الرطوبة ولا يصيبها أذى أو تدهور فيفضل عدم إستخدام المرطبات وأن يضبط الثرموستات على أدنى درجة حرارة ممكنة. أفضل إستخدام لنظم الترطيب يكون مع المنتجات الحساسة للبرودة والتي عادة ما يتم نقلها في شاحنات مبردة على درجة حرارة بين 5 و13 °م.

## دفع الهواء

تلعب الطريقة الملائمة لدفع الهواء دوراً هاما في عملية التبريد بصرف النظر عن السعات التبريدية لوحدة التبريد أو أى تعقيدات أخرى. لمعدل التدفق وطريقة دفع الهواء البارد الدور الرئيسي في الحفاظ على درجة حرارة الثمار ومنع إرتفاعها. وظيفة هذا التدفق من الهواء البارد هو نقل الحرارة من الثمار والتخلص منها من خلال وحدة التبريد. فقط الجدران العازلة تحد من إختراق الحرارة الخارجية للحيز المغلق لكنها لا تخلق هذا النوع من التبادل الحراري الذي يقوم به الهواء البارد المدفوع.

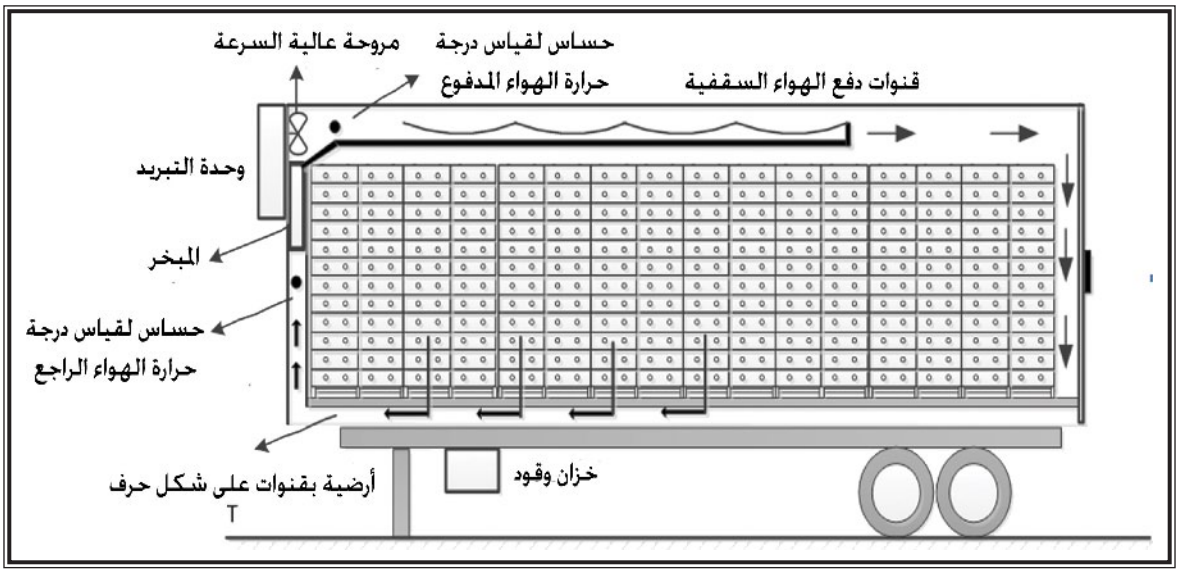
يجب تصميم نظم دفع الهواء بحيث تسمح بسرعة وإنتظام نقل الحرارة من عبوات المنتج حيث أن معدلات النقل السريع للحرارة تعمل على تقليل الفارق في درجة الحرارة بين المبخر وبين الهواء المار خلاله ويحد من تجفيف الهواء وبالتالي فقد الماء ومن ثم يقلل من تراكم هذ الماء على المبخر وتجمده لاحقا.

يوجد نظامان لدفع الهواء الأول هو الدفع الفوقي أو من أعلى (شكل 8.8) وهو الشائع في العربات القديمة حيث يتم دفع الهواء البارد بسرعات عالية خلال ممرات بطول سقف الشاحنة فوق عبوات المنتج ومن الأمام إلى الخلف. بمرور الهواء وتدفقه للأمام باتجاه مؤخرة الشاحنة تتسرب لأسفل كميات منه بامتداد جوانب الشاحنة. حين يصل الهواء لمؤخرة الشاحنة فإنه ينساب

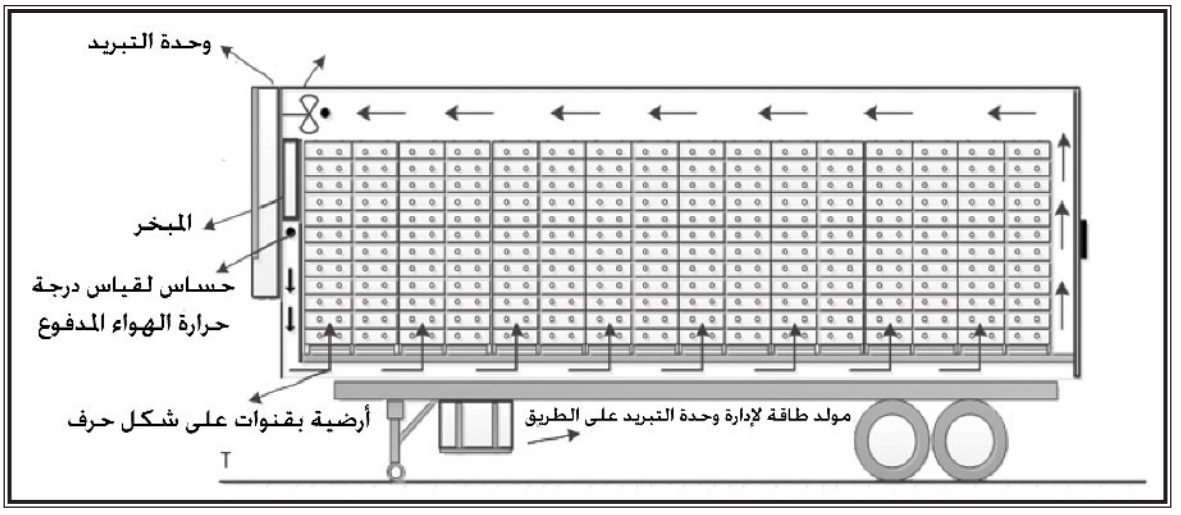
على الباب الخلفي ليتدفق أسفل عبوات المنتج ويتم تجميعه مرة أخرى عند مقدمة الشاحنة ومن ثم يتجه للمبخر. مكونات هذا النظام هي قنوات دفع الهواء بالسقف، قنوات أرضية لعودة الهواء، وحاجز تجميع الهواء بمقدمة الشاحنة. يلاحظ أنه لا توجد تلك القنوات الأرضيه في الكثير من الشاحنات المبردة خاصة الصغيرة مما يعتبر عائقا كبيرا لعودة الهواء مرة أخرى غير أن من عيوب القنوات الأرضية أنها تكون عرضة للأضرار عند التحميل والتفريغ من خلال أسلحة الروافع الشوكية. من الشائع أيضا تراكم الشوائب بداخلها حيث يصعب تنظيفها بعد كل رحلة وبالطبع يؤثر تراكم تلك الشوائب على مرور الهواء. أيضا تكون الروافع الشوكية عرضة للإنزلاق بفعل قلة مساحة التلامس بين الإرضية وإطارات الرافعة.

النظام الأخر هو الذي يوجد بالناقلات الحديثة وهو نظام دفع الهواء السفلي وهذه الطريقة هي الأكثر ملائمة للفواكة والخضروات نظراً لإختراق الهواء البارد للفتحات السفلية للعبوات مما يعطي فرصة للهواء البارد للمرور بين الثمار والإحتكاك بأسطحها الداخلية مما يعطي معدلات تبريد جيدة ويحد من تكثف بخار الماء داخل العبوات بفعل تنفس الثمار. يتكون هذا النظام من ممرات بأرضية الشاحنة على شكل حرف T تتحمل ضغط الهواء المدفوع رأسيا، وجدران مضلعة من الداخل وكذلك أبواب بعرض الشاحنة. توجد حواجز أمامية بمقدمة الشاحنة لتجميع الهواء حيث وحدة التبريد في مقدمة الشاحنه كما هو الحال في نظام الدفع من أعلى حيث تقوم وحدة التبريد بتدوير الهواء من الأمام إلى الخلف غير أنه في هذا النظام فإن الهواء يتم دفعه خلال القنوات الأرضية والتي على شكل حرف T وخلال بالتات المنتج وليس عبر قنوات في سقف الشاحنة. بمعنى أخر أنه وبتحرك الهواء للأمام فإنه يندفع خلال الفتحات السفلية لعبوات المنتج ويمر رأسيا خلالها وعند وصول الهواء لنهاية الشاحنة يمر في الفجوة ما بين البالتات الأخيرة والباب ليتم إسترجاعه مرة أخرى لوحدة التبريد بمقدمة الشاحنة من خلال الفتحات الموجودة على حاجز التجميع.

في تلك الطريقة يجب أن لا تقل نسبة الفتحات السفلية بعبوات المنتج عن 3 % على أن تكون الرصات محكمة لتتطابق تلك الفتحات وتشكل قنوات رأسية لسريان الهواء كما هو موضح بشكل (9.8). أيضا يجب منع هروب الهواء من خلال تغطية أى فتحات في أرضية الشاحنه وحتي نهايتها حيث مكان إسترجاع هذا الهواء بالمؤخرة وتوجد قطع من الفلين تقوم بهذا الغرض وذلك عند عدم إكتمال الحمولة. يجب أيضا تغطية الفتحات الجانبية للبالتات الخشبية حيث يجب أن يكون دفع الهواء رأسيا فقط والعمل على منع هروبه من أى فجوات أخرى.




**شكل (8.8)**: نظام دفع الهواء العلوي في الشاحنات المبردة. كذلك يسمى بالأفقي أو Horizontal. بتصرف من (Thompson *et al.*, 2002) .




**شكل (9.8):** نظام دفع الهواء السفلي في الشاحنات المبردة. كذلك يسمى بالرأسي أو Vertical.
بتصرف من (Thompson *et al.*, 2002) .

## الجو الهوائي المعدل أو المتحكم فيه

مصطلح الجو الهوائي المعدل (Modified atmosphere) يعني إما إزالة أو إضافة غازات محددة بنسب معينة تتباين حسب نوع المنتج بما يؤدي لتكوين تركيب غازي حول المنتج يقلل من عملية التنفس ويقلل من فقد جودته ويزيد من عمره التسويقي، كما سبق شرحه. تتم هذه العملية بتقنيات وأجهزة مختلفة إما في غرف التخزين المبردة (أو الشاحنات محكمة الغلق)، أو داخل العبوات البلاستيكية لبالتات المنتج. ونظراً لأن شاحنات الطرق السريعة عادة ما تكون غير محكمة الغلق ضد تسرب الهواء، فإنها لا تصلح لتطبيق تلك التقنية لكن يمكن أن تستخدم لنقل عبوات أو طبليات المنتج ذات شحنة الهواء الجوي المعدل المغلفة والمعبأة في الأفلام نصف المنفذة المستخدمة مع عبوات المستهلك. القليل من تلك الشاحنات فقط يستخدم في نقل الحاصلات البستانية ذات القيمة النقدية العالية ونادراً ما تستخدم للخضروات خاصة في الدول العربية.

حديثا طورت بعض الشركات المتخصصة في تبريد الشاحنات وحدات تبريد حديثة تسمى "الإدارة الآلية للهواء النقي Automated Fresh Air Management (AFAM)" حيث تقوم تلك الوحدات بضبط معدلات تدفق الهواء النقي بالمتر المكعب لكل ساعة حيث يمكن توقيته وفقاً للظروف المطلوب توفيرها. الوحدة أيضا تقوم بضبط عملية فتح الأبواب بغرض إحداث عملية التهوية وذلك لتحقيق المستوى المرغوب من ثاني أكسيد الكربون والأكسجين. يمكن أيضا تأخير تلك العملية حتى يتم تبريد الحمولة لدرجات حرارة ملائمة للمساهمة في سحب الحرارة الحقلية. هذه التقنية تعتبر إقتصادية وتمثل الإختيار الأمثل للحاصلات البستانية ذات القيمة النقدية العالية مثل الفراولة، الأفوكاد، والأسباراجس.

## نظم التعليق

الإصابات الميكانيكية تحدث أثناءعملية النقل بسبب الإهتزاز الدائم بفعل الطريق أو الصدمات عند الإستخدام المتكرر للكابحات (الفرامل) وما ينتج عن ذلك من إرتطام، يسبب كلا العاملين إصابات مباشرة للمنتجات المحملة فوق المحاور. يتعاظم الإهتزاز بالإنتقال للعبوات الكرتونية حيث تكون الإصابات البالغة من نصيب الثمار أعلى الصناديق العلوية للحمولة. عدد مرات الاهتزاز أو معدله بالإضافة لقوة الإرتطام هي الأسباب التي تحدد مدى الإصابة الميكانيكية للثمار. بعض الدراسات تشير إلى أن للإهتزازات الدائمة أثناء النقل تأثير أكبر من الإرتطام من حيث الإصابات الميكانيكية التي تتعرض لها الثمار. فللتفاح مثلاً، أثبتت الدراسات تأثير كل من جودة الطريق ومسافة النقل وطريقة الرص في العبوة على الإصابات الميكانيكية التي تتعرض لها الثمار. كما أوضحت الدراسات أيضاً أن تأثيرات الإهتزازات الرأسية أشد من الأفقية. في تجارب معملية

تم إجرائها على العنب تعرضت الثمار المتواجدة في الطبقة السفلية لإصابات ميكانيكية أكبر بالمقارنة بثمار العبوات العلوية، وهذا نتيجة لكون الإهتزازات وسرعتها في الطبقة السفلية ضعف تلك التي تتعرض لها الطبقة العلوية لرصات المنتج. وبناءً عليه، يجب أن يراعى في تصميم الناقلات المبردة تقليل الإهتزازات الناتجة بفعل الحركة على الطريق وذلك من خلال إضافة مخدات أو وسائد هوائية.

**شكل (10.8)**: نظم التعليق الهوائية بقاعدة شاحنة مبردة أثناء التجميع.

توجد نظم تعليق هوائية تمتص الإهتزازات بصورة كبيرة للحد من الإصابات الميكانيكية وهي متاحة على نطاق تجاري واسع. تكلفة هذه النظم أعلى من تكلفة نظم تعليق الزنبركات الفولاذية (الميكانيكية)، غير أن إستخدامها قد أصبح شائعاً في المقطورات نظرا لفوائدها العديدة. غالبية شركات النقل الحديثة تطلب أن يكون أسطول سياراتها مجهز بتلك النظم. هذه النظم تزيد أيضاً من عمر الإطارات وتقلل من أضرار الإهتزازات للمقطورة نفسها. يجب عدم تحميل المنتجات الحساسة للإهتزازات مباشرة فوق محاور نظم التعليق الميكانيكية وكلما أمكن تُحمل وسط الشاحنة. يمكن الحد من أضرار الإهتزازات من خلال تعبئة المنتجات بصورة تمنع حركتها. يوضح الشكل رقم (10.8) أحد نظم التعليق الهوائية.

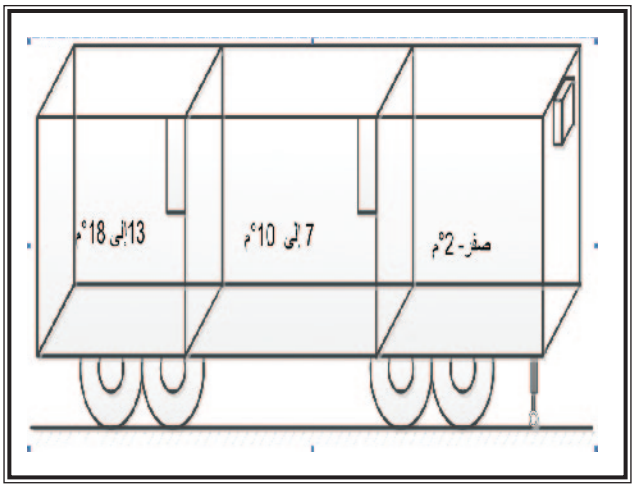
## الحمولات المختلطة (Mixed load)

عملية النقل المبرد وخاصة من مراكز التوزيع لمحلات التجزئة أو المطاعم تكون تقريباً وبصورة دائمة لحمولات مختلطة، حيث تتطلب تلك المنتجات درجات حرارة ونسب رطوبة متباينة وربما تكون عرضه للإصابة بأضرار الإيثيلين ونقل أو إنتقال الروائح غير المرغوبة إليها أو منها. غالبية المنتجات لا تتأثر بسبب قصر الرحلة حيث تمتد فقط لساعات قليلة. في أحيان كثيرة تكون مسافات النقل طويلة وتستغرق الرحلة ساعات بل أيام وخاصة بالنقل البحري وعليه فيجب أن تكون تلك الشحنات محملة بطريقة متوافقة من حيث درجة الحرارة ومستوى الرطوبة النسبية وإنتاجها للإيثيلين لتجنب تأثير بعض الروائح غير المرغوبة على بعض المنتجات المنقولة. فمثلاً، الموالح، البطاطس، والبصل تنبعث منها روائح ربما تؤثر بصورة كبيرة على منتجات مثل التفاح، الكمثرى، والموالح، وكذلك رائحة البصل قد تؤثر على ثمار التين، العنب، وعش الغراب وغيرها من المنتجات ولذا يجب أخذ هذا في الاعتبار.

بما أن الإيثيلين يُسرع من عملية الإنضاج فيجب دائما تجنب شحن المنتجات الحساسة للإيثيلين مثل الموز، الخوخ، الكمثرى، والخيار مع تلك التي تقوم بإنتاج الإيثيلين بكميات كبيرة. هناك منتجات غير حساسة للإيثيلين ومعدلات إنتاجها متدنية جدا مثل العنب، الرمان، التمور حيث يمكن شحنها مع منتجات أخرى وعند نفس درجة الحرارة الخاصة بالمجموعة الموجودة بها. توجد العديد من الطرق لمعالجة الحساسية للإيثيلين منها إستخدام مادة مركب 1-MCP للحماية ضد التأثير غير المرغوب للأيثيلين. يمكن أيضا توفير معدلات تهوية في بعض الشاحنات في حدود 0.2 لتر/ثانية.

يمكن نقل شحنات غير متوافقة لكن في حال تقسيم الشاحنة لعدة أقسام وهكذا يمكن التحكم في درجة حرارة كل قسم منها على حدة لكن هذا يتطلب وحدات تبريد منفصلة لكل قسم مما يعقد الأمور ويزيد من تكلفة الشحن. يتم التقسيم من خلال حواجز متحركة يمكن إزالتها. تقسم الفاكهة والخضروات من حيث عدد المجموعات المتوافقة للتخزين المختلط الآمن بعد الحصاد إلى ثمان مجموعات. غير أنه عملياً توجد صعوبة كبيرة جداً لنجاح وتطبيق مثل هذا التقسيم، حيث أنه لا توجد شركة شحن حتى في الدول المتقدمة لديها شاحنات مجزئة إلى ثمانية أقسام بحيث يكون لكل قسم ظروف مستقلة من حيث درجة حرارة والرطوبة

النسبية. أقصى تقسيم متاح للشاحنات هو ثلاثة أقسام وكما هو موضح بشكل (11.8).




**شكل (11.8):** تقسيم الشاحنات المبردة لعدة أقسام.

يوجد العديد من الخرائط التي تقسم الخضروات والفاكهة الشائعة إلى مجاميع متوافقة يمكن شحنها سوياً. فالمنتجات في نفس المجموعة تتوافق متطلبتها من حيث درجة الحرارة والرطوبة وطبيعة إنتاجها للإثيلين ومن ثم يمكن شحنها معا بآمان عند نفس درجة الحرارة. إذا ما تم خلط المنتجات من أقسام أخرى تتطلب درجات حرارة مختلفة فإن جودة المنتج ستتأثر خاصة خلال النقل أو الشحن الطويل. وكلما زاد الفارق بين درجة الحرارة الموصى بها لتخزين تلك المنتجات عليها ودرجة حرارة الشحن أو النقل كلما زادت إحتمالات فقد الجودة.

الخضروات الجافة والتي لها محتوى مائي منخفض مثل الثوم والبصل يجب عدم شحنها مع أى منتجات أخرى لا تتوافق معها حيث يجب نقل هذه الخضروات في رطوبة نسبية تتراوح من 65 – 75 % لمنع تطور أى إنحلال أو فساد بها. غالبية الخضروات المخزنة في درجات حرارة منخفضة (صفر - 2°م) تكون حساسة لفقد الرطوبة، حيث يؤدي فقدها للرطوبة لتغيرات غير مرغوبة تؤثر في جودتها وبالتالي يجب حفظها عند 90 % رطوبة نسبية أو أن تعبأ بطريقة تحد من فقد الماء. المتبقي من الفاكهة والخضروات يُحفظ على 85 – 95 % رطوبة نسبية.

تم تطوير خريطة من قبل جامعة كاليفورنيا ديفيس (U.C. Davis) تصنف الفاكهة والخضروات إلى ثلاث مجموعات، حيث تتميز هذه الخريطة بسهولة التطبيق والإستخدام وهي موضحة بجدول رقم (1.8).

- **المجموعة 1(1أ،1ب):** تتراوح درجة الحرارة من صفر إلى 2°م والرطوبة النسبية من 90 - 98 % حيث تشمل معظم الخضروات الورقية والفاكهة.
- **المجموعة 2:** تتراوح درجة الحرارة من 7 إلى 10°م والرطوبة النسبية من 85 - 95 % وتشمل الحمضيات والفاكهة الإستوائية والخضروات.
- **المجموعة 3:** تتراوح درجة الحرارة من 13إلى 18°م والرطوبة النسبية من 85 - 95 % وتشمل أنواع عديدة من الخضروات الجذرية واليقطين الشتوي (ذو القشرة القوية) ومعظم الفاكهة الإستوائية وأنواع من البطيخ.

**الجدول رقم (1.8)**. الجدول المتوافق للنقل والخزن المختلط.

| المجموعة 1 | المجموعة 2 | المجموعة 3 |
|---|---|---|
| 2-0 مº<br>1أ: نسبة الرطوبة : 90-98 %<br>1ب : نسبة الرطوبة 85- 95 % | 10-7مº<br>نسبة الرطوبة 85-95 % . | 18-13 مº<br>نسبة الرطوبة 85-95 % . |
| 1أ<br>الينسون – التين الشوكي- الجزر – البقوليات – براعم الفاصوليا - البروكلي - زهرة البروكلي- الكرنب المسلوق - الكرنب- زهرة القرنبيط - كرفس والسلق – الكرنب الصيني- اللفت الصيني- الملفوف – الذرة الحلوى – الخضروات مقطعة– الثوم – البصل أخضر – أعشاب- الجرجير –الكرات- الخس- النعناع - الفطر- الخردل- البقدونس- الجزر الأبيض- الفجل- البازلاء– السبانخ- البازلاء الحلوة . | ريحان – بقوليات هشة وخضراء – لوبياء - خيار – باذنجاء – بطيخ– فاصوليا طويلة –باميا – فلفل أخضر وأحمر حار– فاصوليل طويلة . | البصل الجاف – جنجر –بطاطس –بطاطا حلوة – قلقاس – طماطم ناضجة ونصف ناضجة. |
| 1ب<br>التفاح – المشمش – أفوكادو الناضجة – كريز – العنبيات - الشمام– الكرز – جوز الهند – عنب الزبيب – تمر – التوت – التين – الكيوي - الخوخ – الإجاص - برسيمون – البرقوق – الرمان – البرقوق أو الخوخ مجفف- السفرجل -الفراولة . | أفوكادو غير ناضجة –جريب فروت – جوافة – البرتقال الذهبي – ليمون –برتقال –أناناس – زيتون –يوسفي– بطيخ أحمر . | موز - الشمام العسلي – مانجو – الباباى. |

يجب أن يتفق العميل مع شركة النقل على ظروف عملية الشحن وخاصة درجة الحرارة التي يتم ضبط عربة النقل المبرد عليها طوال الرحلة بما فيها أقصى تذبذب يُسمح به كما يجب تحديد المدى الملائم من الرطوبة النسبية أيضا. يجب أن يتم توضيح تلك المعلومات كتابة لتقليل أى سوء فهم يمكن حدوثه. يتم ضبط درجة حرارة الثرموستات (والذي يجب معايرته) الخاص بعربات النقل المبرد بحيث يتم تجنب تعريض المنتج لدرجات حرارة التجمد وفي نفس الوقت تجنب درجة الحرارة الأعلى من تلك الموصى بها والتي ينتج عنها عادة أضرار تظهر لاحقا حيث قصر العمر التخزيني وإنخفاض الجودة. للمنتجات غير الحساسة للبرودة يُضبط الثرموستات ما بين 1.7°م إلى 4.4°م.

وحدات التبريد الحديثة مجهزة بحساسات لقياس درجة حرارة الهواء ويمكن ضبطها لأقل من هذا حيث أن نظام التحكم بها قد تم تصميمه لضمان أن تكون أبرد درجة حرارة في الحمولة عند مجرى الهواء ولا تنخفض درجة حرارة الهواء لأدنى من درجة ضبط الثرموستات. نظم التبريد مزدوجة الفعل التي تزود الشاحنة بدرجتي حرارة مختلفتين يجب ضبطها بحيث تكون وفقاً لمتطلبات المنتجات المبردة، في حين يتم ضبط درجة حرارة الهواء الراجع للتوافق مع متطلبات المنتجات المجمدة. ممارسات التحميل المحكمة وطرق تبريد المنتج الجيدة في نظام التبريد المتحكم في تدفق هوائه تسمح بأن تكون درجة حرارة الثرموستات أقل من 1.7°م. يتم هذا فعلياً خاصة للمنتجات ذات المحتوى السكري العالي والتي تتجمد عند درجة حرارة أدنى من الصفر المئوي بكثير وأيضا للمنتجات التي تتحمل عدة أضرار بفعل ظروف التجميد الخفيفة.

يمكن قياس درجة حرارة المنتجات سريعة التلف بواسطة اللاقطات الحرارية والتي توضح طبيعة الأجواء السائدة في ظروف التداول المختلفة. تلك اللاقطات تستشعر درجة الحرارة وتقوم بتسجيلها على فترات زمنية محددة وفقا للضبط المُسبق لها. اللاقطات عبارة عن أداة صغيرة جدا تستخدم شرائح إليكترونية لتسجيل درجات حرارة المنتج في أى وقت ومنها النوع المقاوم للماء ويمكنها العمل في مدى واسع من درجات الحرارة بدءاً من التجميد العميق وحتى ما قبل نقطة الغليان للماء ودائما تأتي على أشكال وأحجام كثيرة ومختلفة ولكن غالبيتها صغير الحجم حيث يمكن وضعها في عبوات المنتج أثناء طرق النقل المختلفة.

لكي يصبح قياس درجة حرارة المنتج على النحو المضبوط والعالي من الجودة يجب أن يوضع اللاقط مقرونا بمجس الترمومتر والذي يخترق ويثبت في لب المنتج، حيث عادة ما يوجد مدى واسع من تلك المجسات من حيث نوع الحساس الداخلي وكذلك المزدوجات الحرارية والكوابل المرتبطة بها والتي تصل المجس باللاقط المستخدم.

لاقط البيانات يعطي درجة حرارة المنتج في أي وقت وفقا لطريقة الضبط المُسبق له والتي عادة ما تسجل درجة الحرارة كل عشرة دقائق، وهذه البيانات تكون إما في صورة منحنى بياني أو في شكل جدول.

تم أيضا تطوير أجهزة قياس رقمية للحرارة تعمل عن بعد من خلال الأشعة تحت الحمراء. تُمكن هذه الأجهزة من متابعة درجات حرارة السطحية للثمار في أماكن بعيدة داخل مخازن وشاحنات التبريد. يتم أيضا إستخدام مزدوجات حرارية صغيرة جدا لقياس درجة حرارة المنتج أثناء عملية التبريد الأولي سواء كان بالهواء، الماء المثلج، أو بالتفريغ وكذلك أثناء التخزين والنقل المبرد. لهذه المزدوجات الحرارية مدى متباين من درجات الحرارة ويمكنها أن تستمر في عملية القياس لفترات زمنية طويلة حيث يصل عدد قراءاتها الكلية في بعض الأحيان 1800 قراءة.

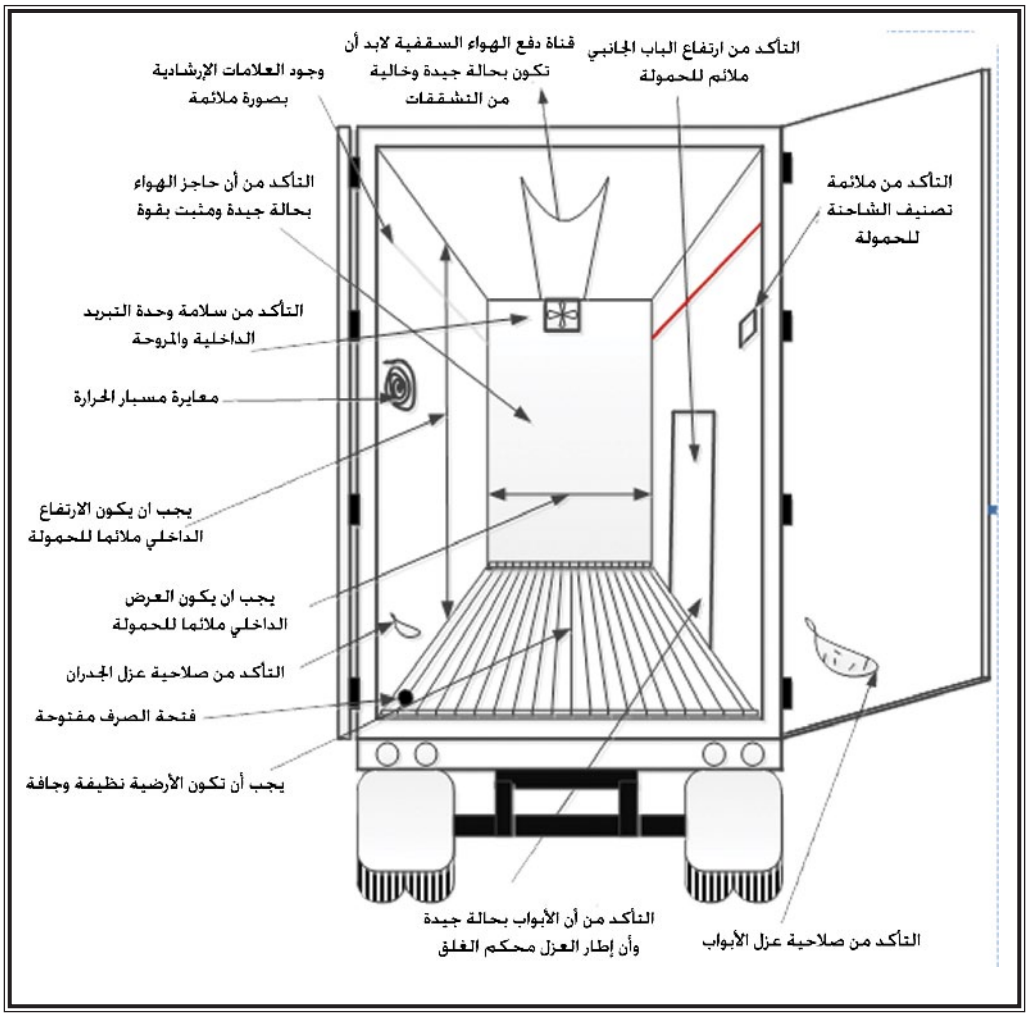
أمكن أيضاً ومن خلال التقنيات الحديثة إجراء عمليات الفحص للمنتجات أثناء وجودها في نقطة الشحن وإستبعاد ما هو غير مرغوب منها ومن ثم تقليل الفاقد لأدنى درجة ممكنة، حيث تتم هذه العملية من خلال الأقمار الصناعية وشبكة المعلومات الدولية. أيضاً تم تطوير نماذج رياضية وأدوات محاكاة تنبئ عن أى إصابات ميكانيكية محتملة أثناء عمليات التداول المختلفة بما فيها النقل ومن ثم يتم الإستفادة منها في عمليات تصميم الناقلات المبردة. يجب التأكد عند نقل المنتجات سريعة التلف من عدم تلوثها بأي من متبقيات الحمولات السابقة والمسجلة على أنها ليست من رتبة المواد الغذائية، حيث عادة ما تستخدم المقطورات المبردة لحمل قدر كبير من المنتجات في رحلة العودة من مناطق الإنتاج والتي ربما تكون أثاث، سجاد، مواد كيميائية، أو مبيدات. وبناءً عليه، يجب دائماً تنظيف الشاحنة جيداً قبل تحميلها بالمنتجات سريعة التلف وذلك لتفادي تلوثها وعدم تحميل المقطورات واضحة الإتساخ والتي بها بقايا روائح من الحمولة السابقة.

### توصيات التشغيل الأمثل لعربات النقل المبردة

يوضح شكل (12.8) االعناصر الواجب التأكد منها قبل تحميل الشاحنة بالحمولة وتشتمل على ما يلي:

- فحص وتجهيز وحدات التبريد وومولدات الطاقة التي تعمل بالديزل قبل كل رحلة.
- التأكد من صلاحية وأداء نظام تشخيص الأعطال في حال وجوده.
- معايرة أجهزة قياس درجة الحرارة بإنتظام.
- التأكد من صلاحية عزل الجدران والسقف والأرضية والأبواب.
- تبريد الحاوية إلى درجة الحرارة الملائمة قبل التحميل.
- إيقاف وحدة التبريد قبل فتح الأبواب للتحميل لمنع تكثف الرطوبة على ملف المبخر.

- يجب أن تكون الشاحنات نظيفة وذات رائحة مقبولة.
- خلو الأرضيات من النفايات وإجراء عملية الصيانة لها قبل التحميل.
- يجب أن تكون االشاحنات خالية من المواد السامة ومصادر التلوث البكتيري.
- تجهيز الشاحنة بمعدات المتابعة لدرجات الحرارة.
- يمكن إستخدام ترمومتر الأشعة تحت الحمراء للتحقق مما إذا كانت الحاوية بردت على نحو كافٍ أم لا.
- يمكن أن يستخدم الترمومتر التقليدي وذلك بوضع المسبار على الجدار الداخلي لمعرفة درجة الحرارة.
- تبريد المنتجات المزمع شحنها لدرجة حرارة الشحن الموصى بها.
- أن تكون عبوات المنتج قوية وتتحمل الرطوبة.
- عدم تجاوز الرصات للعلامات الجانبية الإرشادية على الجدران.
- تدعيم أركان البالتات بزوايا الكرتون المقوى الملائمة.
- إحكام الرصات ومنع تحركها على الطرق من خلال ربطها بالأحزمة أو الأعمدة الملائمة بنهاية الشاحنة.
- عدم تغليف البالتات بأى أغطية بلاستيكية ما لم تكن الشاحنة ملائمة لإستخدام الجو الهوائي المعدل.
- التأكد من صلاحية فتحة التصريف وعدم وجود أى إعاقة لها.




**شكل (12.8)**: قائمة الإختبار الواجب مراجعتها قبل تحميل الشاحنات المبردة.

عقب عملية التحميل يجب مراعاة ما يلي:

- عدم ملامسة البالتات لقناة تصريف الهواء السقفية.
- ترك فراغات ملائمة بين الجدران وبين البالتات.
- الفصل بمسافة ملائمة ما بين الحمولة التي تم تبريدها مسبقا وتلك التي لم تبرد.
- عدم تحميل عبوات بصورة مباشرة على إرضية الشاحنة.
- ضبط الثرموستات على درجة الحرارة المرغوبة.
- أن يكون الوزن الكلي للشاحنة متوافق مع قوانين المرور والسير.
- تثبيت الشاحنة بالطرق الملائمة وفقا لطريقة الرص الموضحة بشكل (7.8).

## حاويات النقل البحري

تقتصر هذه الطريقة في الدول العربية على تصدير بعض من المنتج المحلي للأسواق الخارجية مثل شحن الموالح، البطاطس، العنب، الكنتالوب، المانجو، الفلفل الملون، التمور للموانئ الأوروبية والولايات المتحدة. تستخدم حاويات البحر المبردة على نطاق واسع لنقل المنتجات سريعة التلف عبر البحار والمحيطات وبكميات هائلة حيث توفر تلك الوسيلة درجة حرارة وأجواء شحن ممتازة للمسافات الطويلة. يمكن من خلال تلك الوسيلة (شكل 13.8) الحفاظ على سلسلة التبريد من خلال تطبيق مبدأ الشحن من الباب إلي الباب من خلال نقل تلك الشاحنات من الموانئ على وسائل خاصة تُزود وحدات التبريد بها بالطاقة اللازمة. تستغرق عملية النقل بحاويات البحر زمن أطول مقارنة بالشحن الجوي إذ يستغرق زمن الرحلة من 1 إلى 4 أسابيع غير أن التكلفة تكون أقل بكثير من الشحن الجوي. من المميزات الهامة لتلك الطريقة كون الحاويات دائما في حالة جيدة حيث أن تأجيرها من خطوط شحن بحري عالمية ويجري التأمين على حمولتها ويكون هناك فرق صيانة متخصصة لمواجهة أى أعطال بوحدات تبريد تلك الحاويات. أيضا يتم فحصها وإستبدالها بصورة دورية نظرا لتدهور العزل بها بعد فترات زمنية محددة.

**شكل (13.8)**: حاوية نقل بحري مبردة.

الأبعاد الداخلية لحاويات البحر المبردة عادة ما تكون 11.62 متر (طول)، 2.4 متر (عرض) و 2.29 إلى 2.5 متر (إرتفاع). يتراوح الحجم الداخلي لها من 56.6 إلى 65.1 م$^3$ في حين تتراوح السعة التبريدية لها من 8.4 إلى 10.2 ك.وات. يبلغ معدل دفع الهواء لهذه الوحدات 85-142 م$^3$/ثانية وبضغط إستاتيكي يبلغ 3.8 – 7.6 سم ماء. حاويات البحر مصممة بحيث تتوافق مع العديد من نظم النقل ومنها مثلا القطارات، عبر الطرق (طريق- بحر-طريق)، ( طريق- جو- طريق)، أو(طريق- بحر - سكة حديد - طريق). لذا فيجب أن لا يتجاوز وزن الشاحنة والقاطرة والهيكل الحامل لها الوزن المسموح به على الطرق السريعة.

من الفوارق التي كانت تميز شاحنات البحر المبردة عن عربات النقل المبردة الخاصة بالطرق السريعة هو أن شاحنات البحر المبردة لها نظام تدفق هواء سفلي من خلال قنوات دفع أرضية على شكل حرف T حيث يمكنها تبريد المنتج ببطء أثناء النقل وأنها أكثر إحكاماً ضد تسرب الغازات مما يسمح بإستخدام الهواء الجوي المتحكم فيه في الحيز الداخلي. إلا أنه حديثا عرضت العديد من الشركات المصنعة لعربات النقل المبرد نفس الآلية في توزيع الهواء.

**شكل (14.8)**: بعض أجهزة تسجيل درجة الحرارة بحاويات النقل البحري.

تتميز الحاويات أيضا بنظم التحكم الجيدة والمتابعة لدرجة الحرارة من خلال لاقطات توضع في أماكن متفرقة داخل الحاوية وكذلك لاقطات لقياس الرطوبة النسبية. كما توجد نظم تسجيل أوتوماتيكية لكافة العناصر المسئولة عن أداء وحدة التبريد مثل درجة حرارة الهواء الراجع وضغط الطرد والسحب لضواغط وسيط التبريد وأعطاله. تُبنى هذه النظم كجزء من الحاوية المبردة. لهذا الغرض يتم تركيب أجهزة تسجيل درجة الحرارة أعلى المنطقة الخلفية للحاوية وذلك لسهولة ملاحظتها حيث تتأثر تلك المنطقة بحرارة هواء وحدة التبريد وبسخونة المنتج وتتأثر أيضاً بطريقة الرص والتي تسمح للهواء المبرد بتجاوز مؤخرة الحمولة. يوضح شكل رقم (14.8) بعض الأجهزة المستخدمة في تسجيل البيانات المختلفة. أيضا تحتوي حاويات البحر على نظم تهوية مُتحكم بها لمنع التركيزات المرتفعة من ثاني أكسيد الكربون والتركيزات المنخفضة من الأكسجين وللتقليل من مستويات الإيثيلين في حيز حمولة المنتج. عند تحميل الشاحنة تضبط فتحات التهوية بها عند مستوى ثابت.

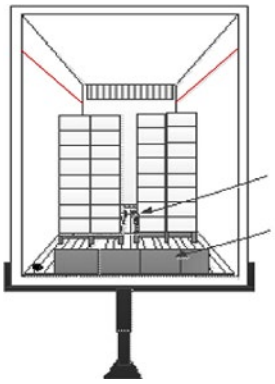
يجب عدم استخدم معدلات تهوية أعلى من الموصى بها حيث أن التهوية الزائدة تزيد من إستهلاك الطاقة. الأجواء الحارة الرطبة ربما تزيد من تراكم الثلج على مبخر وحدة التبريد وتقلل من دقة التحكم بدرجة الحرارة. عملية التهوية تحدد على أساس تدفق الهواء في زمن محدد وتقاس بـ م$^3$/ساعة. ضبط نسبة التهوية أو التحكم فيها من خلال ما يعرف بـ "نسبة فتحات التهوية" يعتبر غير مفيد لأن خصائص الأداء من حيث قوة المراوح ومساحة الفتحات تختلف بدرجة كبيرة وفقا لتصميم الحاويات. على سبيل المثال، فتحات التهوية التي تصل إلى 20 % من الحجم الداخلي للحاوية تقابل 136م$^3$/ساعة في حاوية معينة وتقابل أقل من 100 م$^3$/ساعة في حاوية أخرى. أيضا يتأثر تدفق الهواء لفتحة معينة بقدرة مروحة المبخر. فمثلاً، التردد الكهربائي 60 هرتز دائما يزيد تدفق الهواء بنسبة 20 % بالمقارنة بتردد 50 هرتز. ريش المروحة المتسخة تقلل من معدلات التهوية.

من المهم جدا التأكد من صلاحية وحدات التبريد وخاصة قبل عملية الشحن، حيث تستخدم شركات الشحن العديد من وحدات التبريد المختلفة التي يجب وقبل مغادرة الشحنة التأكد من صلاحيتها للعمل وبصورة كاملة. يوضح جدول (2.8) بعض معدلات التهوية الموصى بها لبعض المنتجات وفقا لحجم حاوية البحر الداخلي.

**جدول (2.8)**: معدلات التهوية الموصى بها لحاوية الشحن البحري 12متر طول.

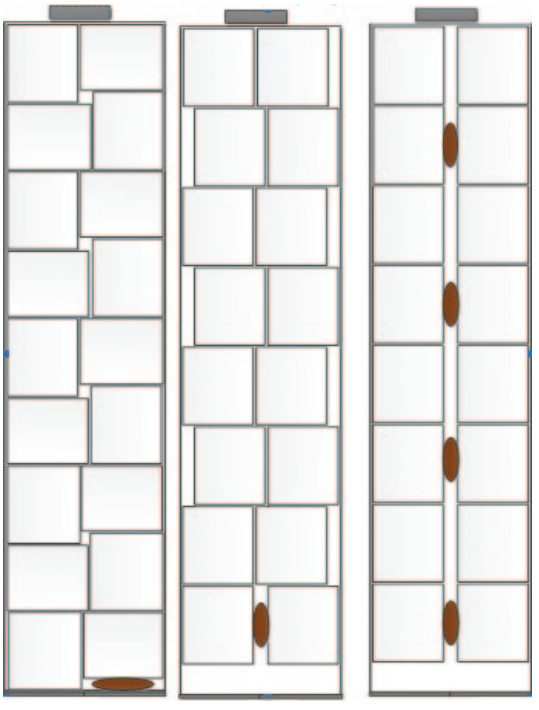
| نوع الفاكهة | معدل التهوية م$^3$/ساعة | نوع الخضروات | معدل التهوية م$^3$/ساعة |
|---|---|---|---|
| العنب | 10 | الخيار | 10 |
| المانجو | 80 | الطماطم | 20 |
| البرتقال | 10 | الخس | 20 |
| اليوسفي | 10 | البصل | 10 |
| الخوخ، البرقوق، المشمش | 10 | البطاطس | 02 |

## توصيات التشغيل الأمثل لحاويات البحر المبردة




**شكل (15.8)**: تغطية أرضية الحاوية وجوانب البالتات الخشبية لإحكام دفع الهواء حول المنتج.

- صلاحية عمل وحدة التبريد ومولد الطاقة الخاص بها.
- وجود وقود كاف لتشغيل مولد الطاقة لوحدة التبريد.
- ضبط ثرموستات الحاوية على درجة الحرارة الملائمة وفقا لنوع الحمولة.
- ضبط فتحة التهوية بالحاوية وفقا للمعدات المطلوبة (جدول 2.8).
- قفل فتحات التهوية على الطرق البرية لعدم جلب غاز الإيثيلين بفعل العادم الخارجي.
- أن تكون جدران الحاوية جيدة العزل وخالية من أى فجوات.
- إحكام غلق الأبواب.
- عدم وجود عوائق بفتحة الصرف.
- وجود ومعرفة تصنيف الحاوية بصورة واضحة.
- أخذ صور واضحة لتفاصيل الحاوية بعد عملية التحميل.
- وضح لاقطات درجة الحرارة والرطوبة النسبية وتشغيلها بصور ملائمة.
- تدوين كافة الظروف بالشحنة وأماكن وضع لاقطات درجة الحرارة.
- الحرص على تغطية جميع أرضية الشاحنة بالبالتات أو أى ألواح أخرى (شكل 15.8).
- سد الفتحات الجانبية (فتحات أسلحة الرافعات الشوكية) للبالتات الخشبية.
- تبريد الحاوية لدرجة حرارة النقل وذلك قبل التحميل.
- إبطال عمل وحدة التبريد قبل فتح أبواب الحاوية بغرض التحميل.
- أن تكون الحاوية نظيفة ورائحتها مقبولة وخالية من أى شوائب.
- أن تكون خالية من أى مواد سامة أو بكتريا أو ما شابه.
- مراجعه وثائق الحاوية للتأكد من صلاحيتها لنقل المواد الغذائية.
- معايرة أجهزة تسجيل درجة الحرارة.
- أن يتوافق الوزن الكلي للحاوية وقاطرة الجر على الطرق السريعة لإشتراطات المرور في كل بلد.
- إحكام غلق قفل باب الحاوية.
- تسجيل رقم قفل الحاوية.
- توصيل الحاوية بمصدر الطاقة عند إنتظارها بمنطقة الحاويات بميناء الشحن.
- الوصول لميناء الشحن قبل الإبحار بما لا يقل عن 24 ساعة للوفاء بالمتطلبات اللوجزتية الروتينية المختلفة.



**شكل (16.8)**: بعض نظم الرص داخل الحاويات المبردة.

يوضح شكل (16.8) بعض طرق الرص بداخل تلك الحاويات بغرض جعل الحمولة متماسكة بصورة جيدة وللحد من حركتها أثناء النقل. الشكل الموضح لبالتات ذات الأبعاد 1 ×1.2 م حيث يمكن

تحميل 18 بالتة بالطريقة الزجزاجية كما هو موضح بأقصى اليسار حيث تبلغ السعة قصوتها لطول الحاوية. لنفس مقاسات البالته يمكن رصها بطريقتين أخرتين لكن تتسع فقط 16 بالته. ينصح دائما بعمل مخطط ملائم لطريقة الرص وفقا للأبعاد الفعلية الداخلية للحاوية في ضوء أبعاد البالتات المستخدمة وعددها الفعلى. تستخدم الوسائد الهوائية لملئ الفراغات البينية بين آخر بالتة وباب الحاوية. يجب كما سبق الإشارة إليه تغطية أى فتحات أرضية بألواح أو سدادات ملائمة وذلك للسماح بالهواء المدفوع من أسفل بإكمال دورته لزيادة الأستفادة من برودة ودفع هذا الهواء.

## سفن النقل البحري

السفن المبردة تكون كبيرة، وهذا الحجم يؤدي إلى مشاكل تسويق فريدة من نوعها من حيث إغراق السوق بكميات كبيرة من المنتجات الأمر الذي ينتج عنه خفض في أسعار تلك المنتجات في حال شحنها لبلد معين ما لم يتم تنظيم ذلك بصورة جيده. مثال على ذلك شحن البطاطس والموالح من مصر للسوق الأوروبية وروسيا. أيضا وفي حال نقل عنب المائدة فيمكن لتلك السفن نقل كميات كبيرة جداً تصل إلى 400000 عبوة دفعة واحدة. بصفة عامة، تستخدم السفن المبردة لنقل المنتجات التي تسوق بأحجام ضخمة مثل الموز، البطاطس، عنب المائدة ، التفاح، والموالح من خلال الشركات الكبيرة حيث يتم التعاقد على ذلك ولمدة عام كامل (شكل 17.8). تلك الطريقة تعتبر شائعة ومتاحة من بلاد منشأ محددة في العالم مثل أمريكا اللاتينية والشمالية المشهورة بالوفرة في تلك المنتجات حيث تصدر للعديد من أسواق دول العالم بما في ذلك الخليج العربي. يعتبر الحجم الكبير للسفن المبردة أحد أهم الفوارق بين إستخدام حاويات البحر المبردة ، فالحاوية عالية الإرتفاع ولعنب المائدة تستوعب عشرين بالته، بالبالتة 144 عبوة وبذلك يكون العدد الكلي للعبوات بها هو 2880 عبوة بحد أقصى، في حين تحمل السفينة المبردة لحوالي 350000 عبوة حيث يسمح الحيز المعزول والكبير والمبرد ذاتياً للسفن لأن تتقاضى تكلفة أقل مقارنة بالنظم التي لديها عدد كبير من الحاويات الفردية.

من عيوب النقل بالسفن هو عدم إتباع مفهوم سلسلة التبريد حيث يتم عادة النقل للمرافئ المفتوحة في سيارات غير مبردة، وتعدد مراحل عملية التداول ويتعرض المنتج لعوامل الحرارة المرتفعة صيفاً ولدرجات التجمد شتاء، أو للقذف والإرتطام وهذا يمثل مشكلة خاصة في السفن التي تستخدم نظام تبريد مشترك لجزأين منفصلين حيث لا يعمل نظام التبريد إلا في حال تحميل كليهما.

المشكلة التي تواجه المصدرين بإستخدام تلك الطريقه وخاصة للبطاطس وفي حال ظهور أى أمراض في الشحنة مثل العفن البني، تعامل السفنية كوحدة واحدة ليتم رفض الشحنه، أى كامل حمولة السفينه في تلك الحالة. أما في في حالة إستخدام الحاويات المبردة فتعامل كل حاوية كوحدة منفصلة عند أخذ عينات الفحص ومن ثم وفي حال الرفض ترفض فقط حمولة تلك الحاوية. يجب التنويه للكميات الكبيرة من بعض المنتجات التي يمكن تصديرها بتلك الطريقة من الدول العربية مثل البصل، البطاطس، الموالح، والتمور.

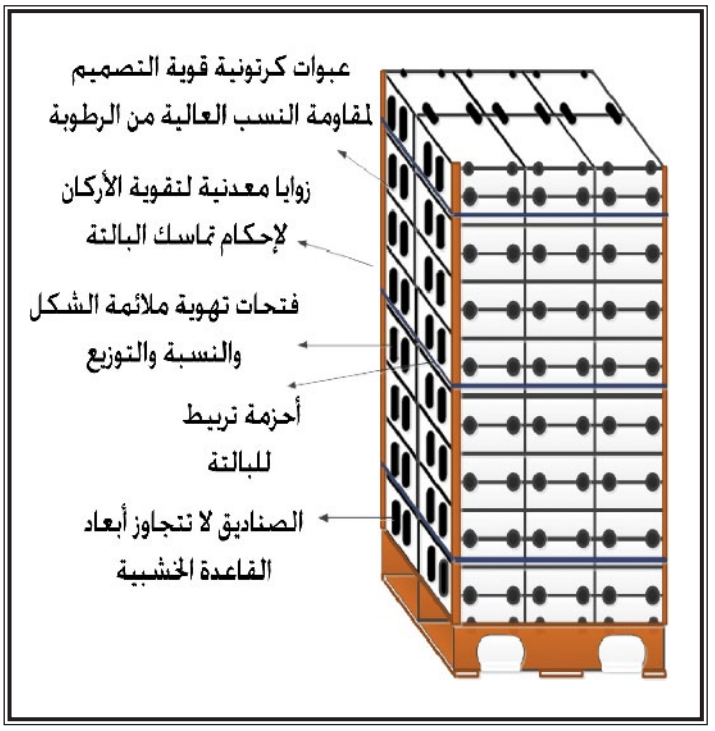
لسفن التبريد نظم تحكم إليكترونية في درجة الحرارة يمكنها حفظ درجة الحرارة في حدود ± 0.1°م من درجة ضبط الثرموستات. في ظروف التشغيل المستقرة يكون التغير في درجة الحرارة في حيز الحمولة أقل من 1°م. حيز التخزين في سفن الشحن المبردة الحديثة، كما هو موضح في الشكل رقم (17.8) يتراوح من 10000 إلى 15000 م$^3$ ولبعضها أحجام تخزين تصل إلى 22000 م$^3$. ينقسم الحيز التخزيني عادة إلى أربع أماكن حفظ منفصلة، يقسم كل منها إلى 3 - 5 أقسام ولكل قسم إرتفاع قياسي يبلغ 2.2 متر . عادة ما يكون للسفن الروافع الخاصة بها لغرض التحميل والتفريغ حيث يجري تحميل السفن من خلال مجرى مغطى بأعلى كل قسم ويكون هناك فتحة بأرضية كل قسم لتحميل القسم الأسفل منه.

**شكل (17.8)**: شحن عنب المائدة في السفن المبردة.

في بعض السفن المبردة الحديثة يتاح النقل في وسط جو هوائي متحكم فيه بصورة تجارية وقد أصبحت هذه الخدمة متاحة بصورة متزايدة في جيل الوحدات الجديدة، خاصة تلك المجهزة بمعدات هواء جوي معدل على ظهر السفينة. غير أنه يجب الحذر من إستخدام هذه التقنية بحيث يتم تنظيمها ضمن خطوات التداول المطلوبة عند تفريغ المنتج في المحطة النهائية وما يليه من خطوات تسويقية تراعي أى عمليات تدوير محتملة.

كما سبق الإشارة فيجب إتباع توصيات محددة للوصول إلى أفضل إستخدام لعربات الطرق السريعة المبردة، غالبية هذه التوصيات تنطبق على حاويات وسفن البحر المبردة. من أهم هذه التوصيات هو الإستخدام الأمثل لنظم تدفق الهواء السفلي والذي يتطلب أن تسمح طريقة التحميل والرص بتدفق ودفع الهواء خلال وحدات العبوات ولا يسمح له بالهروب حول عبوات البالتات. يتم هذا بالرص الجيد بحيث تنشأ قنوات محكمة لسريان الهواء نتيجة الإنطباق التام للعبوات على بعضها البعض في كل بالته. يستلزم هذا الأمر أن تكون نسبة الفتحات أعلى العبوات والتي تعتمد على التبريد أثناء النقل وبنظام تدفق الهواء السفلي في حدود 3 % وكذلك في القاع وأن تتطابق الفتحات على بعضها البعض حتى وإن تم رص الصناديق بصورة متعاكسة، ويجب ألا يسد التغليف الداخلي والألواح الحاجزة مرور هواء التبريد خلال تلك الفتحات.

يؤدي نظام دفع الهواء السفلي إلى معدلات تبريد بطيئة للمنتج في حال مرور الهواء بصورة رأسية خلال عبوات المنتج. في حال شحن الموالح عن طريق حاويات البحر يتحقق سبعة أثمان الزمن التبريدي عادة في حوالي 100 ساعة. غير أنه وفي بعض التجارب الحديثة أمكن الوصول لمعدلات تبريد أسرع للعنب والذي كان في حدود 12 ساعة ولكن الكميات التي حملت في الحاوية كانت محدودة. في هذه الحالة تم تغطية الأجزاء الأرضية غير المحملة بالمنتج بألواح ملائمة لفرض مرور الهواء البارد خلال وحول العبوات حيث كانت فتحات الصناديق المستخدمة ملائمة للتدفق الرأسي للهواء (الشكل رقم 18.8). ومثلما يحدث في حاويات البحر المبردة، إذا لم تغطى فتحات الأرضية وفتحات البالتات الجانبية بالكامل فإن الهواء البارد سيتخطى أو يتجاوز جزء من حمولة المنتج ليمر في المسارات الأقل مقاومة وبالتالي ترتفع درجة حرارة المنتجات التي تحيط بها تيارات هواء دافئة وخاصة إذا لم يتم تبريدها تبريداً سريعاً قبل النقل. تسمح فتحات الهواء بالأرضية بمقدمة الحاوية بسريان الهواء في تلك المنطقة المفتوحة، بينما في مؤخرة الحاوية يكون المنتج أسخن لقلة هواء التبريد الذي يصل لتلك المنطقة.




**شكل (18.8)**: البالتات الملائمة للتدفق الرأسي للهواء البارد بحاويات البحر والسفن المبردة.

عند تحميل المنتجات في صورة بالتات، يجب تغطية أركان البالته المفتوحة وذلك لمنع الهواء من المرور أفقياً عبر فتحات البالته ومن ثم الهروب إلى قناة رأسية مفتوحة بين بالتات الحمولة. تتميز حاويات البحر بالجدران المتعرجة والتي تضمن وجود تيارات هوائية بين الجدران والمنتج. لذا يجب عدم التحميل مركزياً كما هو موصى به في المقطورات المبردة للطرق السريعة.

بعض الفاكهة المسوقة دولياً يشترط للسماح بدخولها لموانئ الوصول إجراء عملية تبخير بغازات معينة أو معالجة بحفظها لفترات محددة على درجات حرارة منخفضة بغرض التخلص من الآفات الحشرية وتعد التمور أحد هذه

المنتجات. يمكن في السفن المبردة تجهيز هذه المنتجات لعملية التبخير عن طريق تسخينها ببطء لدرجة الحرارة المطلوب تبخير الغاز عليها ومباشرة قبل الوصول للميناء ثم إنجاز عملية التبخير ذاتها في محطات التبخير في الميناء وبالتالي الإسراع من عملية التداول في موانئ الوصول. يمكن أيضاً إستخدام الحاويات المبردة والسفن لتتوافق مع إجراءات الحجر الزراعي من خلال حفظ المنتج على درجات حرارة منخفضة. مثال على ذلك التعليمات الخاصة ببعض الدول والتي تشترط بعض المعاملات للتخلص من ذبابة الفاكهة بحفظ الثمار على درجة حرارة 1.1°م لمدة 12 يوم أو 2.2°م لمدة 16 يوم.

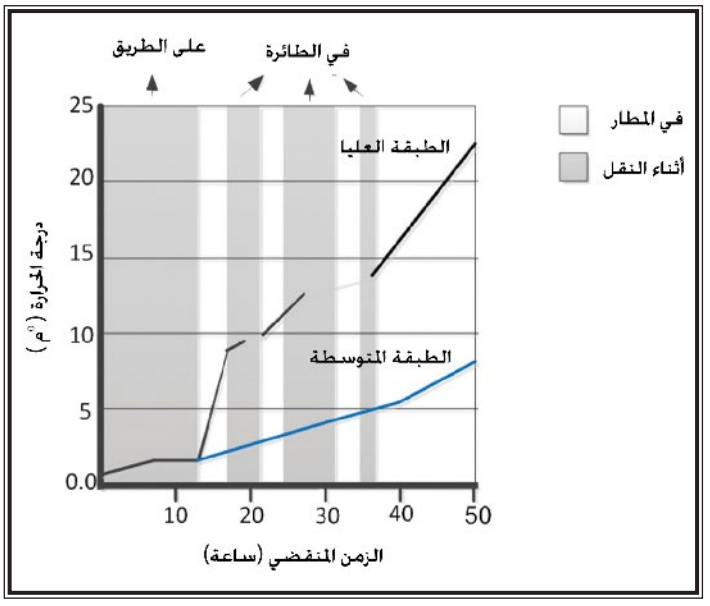
## الشحن الجوي

يعد الشحن الجوي أغلى وسائل النقل حيث تبلغ في بعض الأحيان عشرة أضعاف النقل بالبحر وذلك وفقا لمسافة النقل، الشركة الحاملة، التوقيت، آليات التسويق، أو الموسم، بالإضافة لعوامل أخرى كثيرة. يتم نقل كميات ضئيلة بهذه الطريقة حين تسمح أسواق التصدير بالحصول على أسعار مجدية تبرر تلك التكاليف حيث يقتصر الأمر على كميات محدودة وفي بداية موسم الحصاد. يعتبر الشحن الجوي هو الوسيلة المثلى والوحيدة للنقل لمسافات طويلة جدا و خاصة عبر البحار لأنواع محددة من المنتجات السريعة التلف والتي تتميز بقيمة عالية مثل أصناف من زهور القطف وسلاطة الخضار والفاكهة (Fresh-cut) وذلك نظرا لمتطلباتها من حيث الجودة العالية وقصر العمر التسويقي لها حيث تتبع إجراءات صارمة للحفاظ على سلسلة التبريد. في الشحن الجوي ربما وفي غالبية الأحيان تصعب عملية الحفاظ على سلسلة التبريد مقارنة بطرق النقل البري أو النقل البحري لكن ميزته الأساسية هو ما يوفره من وقت مقارنة بالطرق الأخرى. في بعض المطارات الحديثة غالباً ما تتواجد مخازن تبريد توفر مدى متباين من درجات الحرارة للحفظ المؤقت لتلك المنتجات لحين تحميلها في الطائرات حيث يوجد بمطار عمان ومطار القاهرة ودبي مثل تلك المخازن. في حال غياب هذه الخدمة في مطارات الشحن ولضمان أفضل ظروف من حيث درجة الحرارة يتم إستئجار شاحنة مبردة لتنظيم تداول المنتجات في المطارات، في غير ذلك يمكن أن تظل بالتات المنتجات سريعة التلف على ممرات الشحن لساعات طويلة وفي ظروف مناخية غير ملائمة سواء من حيث إرتفاع الحرارة أو إنخفاضها وأيضا تكون المنتجات عرضة للرياح والأتربة مما يُسرع من عملية تدهورها. يجب أن تصل الشحنة لمطار الشحن قبل الميعاد الفعلي للإقلاع بحوالي من 6 إلى 8 ساعات حيث تكون درجة حرارتها في تلك الفترة وفي غالبية الأحيان خارج نطاق السيطرة في حال كانت أماكن الإنتظار والتجميع بالمطارت غير مبردة. يجب وضع عبوات المنتج داخل بالتات معينة متوافقة (شكل 19.8) مع الحيز المتاح بداخل الطائرة تسمى (ULDs) أو توضع على طبليات مغطاة بالشبك في طائرات الشحن. تستغرق تلك العملية وقتا إضافيا ومن ثم فإن عملية التهيئة والإنتظار في نقاط الشحن والأستلام تضيف الكثير من الوقت خارج نطاق السيطرة على درجة الحرارة و بصورة كبيرة.

**شكل (19.8)**: بالتات خطوط شحن لطيران (ULD).

يوضح منحني (20.8) تاريخ درجة الحرارة مع الزمن لشحنة فراولة منقولة جوا وتفاصيل ذلك الوقت بدئا من عملية نقلها من محطة التعبئة في عربة مبردة مرورا بإنتظارها في صالة التجميع بالمطار وإنتقالها من طائرة لأخرى وفقا لخطة الطيران المتاحة ووصولا للمحطة النهائية لها. يختلف المنحنى وفقا لنوع المنتج وللمحطة النهائية المطلوب الوصول لها بالإضافة لعوامل أخرى مختلفة. داخل حيز الشحن بالطائرات عادة ما تكون درجة الحرارة مماثلة لدرجة حرارة الغرفة في حين ولبعض خطوط الشحن تتباين تلك الدرجة من 7 إلى 30°م. في بعض الطائرات يقع هذا الحيز على حافة الطائرة حيث تكون درجة الحرارة في حدود صفر

°م. بعض الحاويات مجهز بوسيط تبريد ثاني أكسيد الكربون ومروحة متصلة بثرموستات تستمد الطاقة من بطارية مشحونة حيث تقوم المروحة بسحب الهواء من الحاوية ليمر على وسيط التبريد كلما تطلب الأمر التحكم في درجة الحرارة. عادة ما يتراوح زمن النقل الجوي ما بين 6 إلى 18 ساعة.




**شكل (20.8)**: علاقة درجة الحرارة مع الزمن لشحنة فراولة منقولة جوا .

غالبية خطوط شحن الطائرات لا توفر أى تبريد ولا معدلات تدوير هواء مناسبة لأماكن حفظ المنتجات سريعة التلف ولا يوجد أى وسائل تحكم أو ضبط لدرجة الحرارة أو الرطوبة النسبية، ومن ثم تكون الظروف غير ملائمة للحفاظ على جودة تلك المنتجات سريعة التلف. يضاف لما سبق ما يشكله الفقد في الوزن بفعل الإنخفاض الكبير في الرطوبة النسبية للهواء في الإرتفاعات العالية حيث تكون في بعض الأحيان أقل من 10 %، يؤدي ذلك لجفاف المنتجات إذا لم تكن معبأة بصورة صحيحة وموضوعة في صناديق محكمة ضد تسرب الهواء. أيضا ينخفض الضغط الجوي في الطائرات لأقل من 60 % عن مستوى البحر ولذا يجب تهوية المنتجات الموضوعة في أكياس لإحداث توازن في الضغط، وفي حال إستخدام أكياس الجو الهوائي المعدل فيجب أن تكون قوية بدرجة كافية لمقاومة الضغوط الجوية المنخفضة في النقل الجوي.

يمكن الحصول على ظروف أفضل من حيث درجة الحرارة عن طريق تغليف بالتات المنتج لمنع مرور الهواء الساخن على الصناديق (شكل 21.8). يجب أن تغطى جوانب البالتات وقاعها أيضا ويمكن لمواد التغليف أن تكون عازلاً حرارياً لحفظ درجة حرارة المنتج المنخفضة في حال ما كانت مبردة تبريداً سريعاً. تُصنع أيضا مواد التغليف من المواد العاكسة لتقليل حرارة الإشعاع المكتسبة نتيجة وضع المنتجات على الأرصفة المفتوحة وفي ممرات المطارات.

**شكل (21.8)**: طرق مختلفة لتغطية حاويات الطائرات لمنع تسرب الحرارة.

في حال لم تكن الأغطية معزولة حراريا فيجب إزالتها إذا ما سمح لدرجة حرارة المنتجات بالإرتفاع لقرب درجة حرارة الغرفة وذلك لإحتمال تراكم حرارة التنفس تحت الأغلفة والتي ربما تزيد من حرارة المنتج لأعلى من درجة حرارة الغرفة. تمثل تلك العملية إضافة لتكلفة الشحن الجوي تعادل 1 إلى 2 % من تكلفة النقل الجوي الكلية. في بعض الأحيان يُعبأ المنتج مع عبوات ثلج أو ثلج جاف لتوفير بعض التبريد أثناء النقل ويجب تبليغ شركة الطيران في حال إستخدام الثلج الجاف نظراً لسميته على الركاب والحيوانات. يوضع الثلج المائي في أغلفة محكمة لمنع تسرب الماء وربما يتطلب مواد ماصة في الصندوق لإحتمال حدوث أى تسريب.

### إستمارة تحليل تكاليف النقل

تمثل هذه الإستمارة وسيلة هامة لتحديد التكاليف لكل طرق النقل الأربعة ومن ثم المقارنة بينها. بجدول رقم (3.8)، فإن العمود الذي يبدأ بعبارة (عن طريق البحر) هو خاص بحركة الحاوية المبردة من ميناء إلى أخر عن طريق البحر، والعمود الذي يبدأ بـ (متعددة الوسائل) هو لحركة الحاوية المبردة بشحنتها التي تم تبريدها والمحافظة عليها مبردة من باب المرسل إلى باب المرسل إليه حيث الشحنة قد تم فحصها وغلقها على منصة التفتيش.

الحاويات كبيرة الحجم ذات الدفع السفلي لهواء التبريد والتي يتم توفيرها من قبل شركات النقل البحري هي أكبر من الحاويات المبردة القياسية بنسبة 12 % مع إمكانية الحزم والتربيط الجيدة، وعلى المُصدر التأكد من أن الصناديق الكرتونية قوية بحيث تكون مناسبة لهذه السعة عالية التحميل، وأن الرص بارتفاع 2.3م هو الحد الأقصى للتحميل على المنصة النقالة بحيث يسمح لمجال كاف لدوران الهواء البارد.

**جدول رقم (3.8)**: تحليل تكاليف النقل.

| عنصر الكلفة | عن طريق الجو | عن طريق الشاحنات | عن طريق البحر | بوسائل متعددة |
|---|---|---|---|---|
| 1- التبريد المسبق قبل التحميل | | | | |
| 2- التبريد أثناء التحميل | | | | |
| 3- تكلفة الخزن المبرد، أجرة التحميل والتفريغ لكل يوم خزن | | | | |
| 4- النقل من البراد إلى منطقة وضع الحمولة لتحميلها إلى شاحنات التبريد | | | | |
| 5- أجرة إعادة التحميل عند منطقة التحميل | | | | |
| 6- التحميل إلى شاحنات التصدير | | | | |
| 7- أجرة الشحن للوجهة الخارجية | | | | |
| 8- الرسوم الإضافية والرسوم الجزائية المفروضة عند المنشأ | | | | |
| 9- رسوم عدم التحميل المفروضة على بلد الوجهة | | | | |
| 10- الأجور والرسوم الخاصة المفروضة على بلد الوجهة | | | | |
| التكلفة الكلية | | | | |
| كلفة الكيلو جرام الواحد | | | | |

تكلفة الحاوية القياسية لا يمكن مقارنتها مع تكلفة الحاويات ذات الحجم الكبير، إلا إذا تم احتساب التكلفة للكيلو جرام الواحد في كلا الحاويتين. ووفقاً لهذه الطريقة ونظراً للحجم الأكبر الذي تستوعبه الحاوية كبيرة الحجم فسيكون سعر الكيلو جرام لها أقل كلفة.

لا تنطبق جميع عوامل التكلفة العشرة على كافة طرق الشحن. فقط عندما ينتهي الشخص من ملئ الاستمارة لشحنة معينة، ستتضح التكاليف الفعلية لوسيلة الشحن المحددة التي تم تقييمها. فمثلاً تكون كلفة الشحن البحري مجرد واحدة من عوامل التكلفة العشرة. وأما بالنسبة للنقل متعدد الوسائل فإنه ستهمل العديد من هذه العوامل.

إن عملية النقل (من باب المرسل إلى باب المرسل إليه أو المستلم) تعتبر مهمة في مجال شحن السلع الحساسة والمبردة لذا يجب الإهتمام بها.

من الجوانب الهامة أيضاً وللتحسين الدائم والتطوير لعملية النقل هو تسجيل ومتابعة درجة الحرارة بإمتداد العملية الإنتاجية وحتى وصول المنتج للمستلم النهائي. يعرض جدول (4.8) نموذج سجل البيانات الواجب تعبئته على أن يتم تحليله من قبل مختصي الجودة للوقوف على كافة التفاصيل ومن ثم إقتراح أى خطوات وإجراءات لاحقة لتصحيح أى خطأ.

**جدول (4.8)**: متابعة سلسلة التبريد أثناء النقل البحري.

| المرحلة | الوقت | درجة الحرارة | | | ملاحظات |
|---|---|---|---|---|---|
| | ساعة/ دقيقة | التوصيف | الفاكهة | الهواء | |
| درجة الحرارة عند الحصاد | | | | | |
| عند الوصول لمحطة التعبئة | | | | | |
| بعد التعبئة | | | | | |
| بداية التبريد السريع | | | | | |
| نهاية التبريد السريع | | | | | |
| الخزن المبرد:<br>1. درجة حرارة الغرفة<br>2. زمن التخزين | | | | | |
| النقل بحاوية البحر المبردة:<br>1. درجة حرارة التبريد السريع<br>2. زمن النقل (بالأيام) | | | | | |
| النقل البري<br>1. درجة حرارة الشاحنة<br>2. زمن النقل<br>3. درجة حرارة التحميل | | | | | |
| الوصول إلى المحطة النهائية | | | | | |
| الوقت والتاريخ | | | | | |

## الخلاصة

يمكن تلخيص ما سبق عن طرق النقل المختلفة كما يلي:

- **عربات النقل المبردة:** سريعة، شائعة الإستخدام، متوفرة، وجيدة التحمل.
- **شاحنات البحر المبردة:** جيدة التحمل ومن أفضل الطرق وأكثرها إقتصادية للنقل عبر البحار والمحيطات وللكميات الكبيرة والمنتجات متوسطة العطب.
- **سفن البحر المبردة**: جيدة التحمل وأفضل الطرق وأكثرها إقتصادية للنقل.
- **النقل الجوي:** باهظ التكلفة وغير متحكم في ظروف النقل به.

وتتوقف عملية إختيار طريقة النقل المناسبة على عدد من العوامل ومنها:

1- المسافة النهائية المراد الوصول لها.
2- القيمة النقدية للمنتجات المشحونة.
3- درجة تلف وحساسية تلك المنتجات.
4- كمية المنتجات التي يراد نقلها.
5- درجة الحرارة المطلوب توفرها أثناء النقل.
6- مستوى التهوية والرطوبة النسبية المراد توفيره.
7- مدى الحاجة لتقنية الجو الهوائي المعدل أو المتحكم فيه.
8- درجة حرارة الأجواء الخارجية في نقطة الشحن.
9- الزمن اللازم للوصول للنقطة النهائية بالجو، بالبحر، وبالبر.
10- تكلفة النقل بالوسائل الثلاث السابقة.
11- جودة طرق النقل المختلفة ومدى التحكم بها وسهولة توفرها.

## الفصل التاسع

# مخططات مخازن التبريد

### الملخص

تخطيط مشاريع التخزين المبرد من المراحل الهامة التي يجب أن تراعي العديد من العوامل بدآ من إختيار الموقع والوفاء بالمبررات المختلفة لهذا الإختيار وإنتهاءاً بعمليات السلامة الواجب تضمنيها في المخطط ولاحقا في المبنى. يناقش هذا الفصل كافة الإعتبارات اللازمة لتصميم وتطوير مخطط يقلل التكاليف الإستثمارية للمشروع ويزيد من كفائتة ومن قدرتة التخزينية.

### مقدمة

الخطوة الأولي للمخطط الجيد لمخازن التبريد هو تحديد السعة التخزينية المطلوبة ونوعية المنتجات المزمع تداولها. من المُدخلات الهامة أيضا معرفة وحدة التداول داخل المخازن سواء كانت صناديق كرتونية، أكياس شبكية كما هو الحال مع البطاطس والبصل، أو صناديق كبيرة للجزر والبصل والبطاطس والدرنيات عموما. يعقب ذلك تحديد نوعية نظام التداول الداخلي.

موقع المشروع عادة ما يكون إما معطى مسبقا أو يمكن إختياره من بين عدة مواقع متاحة حيث تلعب الدراسة التسويقية للمشروع ومخرجاتها محورا هاما في تبرير وتحديد الموقع الأمثل للمشروع. من مبررات إختيار الموقع قربه من مناطق الإنتاج، التسويق، أوالإستهلاك سواء الطازج أو بغرض التصنيع مثل البطاطس والتمور. وجود البنية الأساسية، العمالة، وشبكة الطرق من الميزات التفاضلية وأيضا القرب من الموانى، المطارات، ومنافذ النقل والتصدير الأخرى. يجب الموائمة ما بين سعر الأرض وجميع ما سبق وفقا لتحليل تكاليف تفصيلي. يمكن إجمال الإشتراطات العامة في الموقع كما يلي:

- تسمح الخواص الميكانيكة للتربة بإقامة المشروع وأن تكون بعيدة عن المياه الجوفية.
- يتوافق شكل ومساحة الإرض المتاحة مع متطلبات المشروع والتوسع المستقبلي المحتمل.
- القرب من مناطق زراعة الخام بقدر الإمكان حتى لا تتسبب طول المسافة في تهتك وفساد المنتج.
- البعد عن أى مصانع لها روائح نفاذة مثل مصانع البويات والصناعات الكيميائية، وعن مسار هبوب الرياح والغبار.
- نظافة الموقع والبعد عن مصادر التلوث البيئي أو الصناعي.
- توافر الإحتياجات التشغيلية الرئيسية من مياه وطاقة كهربائية.
- ملائمة الطرق المؤدية للمشروع لضمان سهولة حركة وسائل النقل وأن تؤدي لمنافذ التسويق أو التصدير الرئيسية.
- القرب بقدر الإمكان من أماكن توافر العمالة، خاصة وأن مشاريع التخزين والفرز والتدريج تحتاج إلى عمالة مؤقتة في فترة جني المحصول.

### التوسع المستقبلي

يجب أن يراعي المخطط إمكانية التوسع المستقبلي وفقا لتطور صناعة تداول الحاصلات البستانية حيث أن ذلك شديد الإرتباط بمعدلات الإنتاج المحلي، الإستهلاك، والزيادات السكانية المتوقعة بالإضافة لعمليات الإستيراد والتصدير للأصناف المتداولة. التوسع المستقبلي ربما يتضمن عمليات جديدة خارج إطار المشروع الحالي. يوجد العديد من الخدمات الإضافية التي ربما تحتاج لإعتبارات خاصة من حيث المكان والخدمات المساندة اللازمة للتشغيل. يراعى في المخطط ترك مسافة بكامل محيط المشروع لا تقل عن 5 متر حيث تتطلب بعض المواصفات المحلية في بعض الدول ترك ذلك الحرم الداخلي وذلك لدواعي السلامة وسهولة الحركة. يراعى

أيضا عدم ترك زوايا حادة بالمبنى من الخارج و أيضا توحيد مداخل ومخارج المشروع بهدف إحكام السيطرة حيث يعتبر من العوامل الهامة الواجب مراعتها.

## العناصر الوظيفية للمشروع

من القرارات الهامة التي يجب دراستها فعليا في إطار تطوير المخطط الخاص بالمشروع هي عناصره الوظيفية. من ضمن تلك العناصر التخزين المبرد وهل هو لدرجة حرارة واحدة أم لدرجات حرارة متعددة تغطي كل من التبريد والتجميد؟. هل سيتضمن المشروع محطة فرز وتدريج وتعبئة ولأي المنتجات؟. توجد قائمة محددة للخدمات التي يمكن أن يتضمنها المشروع وتشتمل على ما يلي:

1- خدمات التنزيل والتحميل.
2- تقوية وتدعيم وبناء الطبليات أو البالتات.
3- دعم خدمات الإستيراد والتصدير.
4- فرز، تدريج، تجميع، وتصنيف المنتجات.
5- وضع العلامات المميزة على وحدات المنتج (البالتات).
6- التعبئة في عبوات المستهلك ووضع العلامات المميزة عليها.
7- الوزن سواء للعبوات الصغيرة أو الكبيرة.
8- المسح (Scanning) لصالح النظام التسويقي الخاص بالمستهلك.
9- شحن عينات لصالح العميل على سبيل التسويق.
10- توثيق الكميات.
11- النقل الإليكتروني للبيانات والمعلومات.
12- تغليف البالتات بالأغلفة البلاستيكية وغيرها.
13- خدمات التبريد السريع بكل أنواعها.
14- النقل المبرد.
15- تجهيز شاحنات النقل البحري بمعدات متابعة درجة الحرارة والرطوبة.
16- تجهيز وإرسال الشحنات المختلطة للمستهلك النهائي أو السوبر ماركت.
17- إعداد التقارير ذات الصلة.
18- توفير مهام تأكيد الجودة.
19- بيع الطبليات، الصناديق، المعدات، ومواد التغليف المختلفة.
20- خدمات الثلج الجاف للشحن الجوي.
21- خدمة على مدار ساعات اليوم، الأسبوع، والعام.
22- التوافق مع سبل النقل الأخرى سواء برية أو بحرية.
23- التخلص من العبوات وتدويرها.
24- خدمات سائقي الشاحنات.
25- خدمات الجو الهوائي المعدل وعبواته.
26- تسعير التخزين بالبالتة، الطن، بالمتر$^3$، بالغرفة.
27- خدمة إنتقاء بالته بعينها على مدار الساعة.

**الخدمات المساندة**

قائمة الخدمات المساندة للعناصر الوظيفية الرئيسية من حيث النوعية والمساحة والمتطلبات تشتمل على ما يلي:

1- غرف المعدات.
2- غرف التحكم المركزي.
3- غرفة المولدات الكهربائية.
4- غرف شحن البطاريات.
5- ورشة.
6- مختبرات لضبط الجودة.
7- غرف لماكينات غسيل الصناديق.
8- خزانات مياه أرضية لنظام الإطفاء.
9- خزانات مياه أرضية لتغذية نظام إذابة الصقيع.
10- خزانات مياه أرضية لتجميع مياه الصرف القادمة من الغرف المبردة.
11- خزانات أرضية للمكثف التبخيري.
12- غرف تغيير الملابس ودورات المياه للنساء والرجال.
13- مخازن مواد التغليف والتعبئة.
14- مخازن المود الكيمائية.
15- الغلايات.
16- المبنى الإداري.
17- غرف معدات تحلية المياه.
18- صالة الخدمات الترفيهية للعمالة.
19- عيادة ومسجد.
20- سكن العمال (إن أمكن).
21- سكن الحارس.
22- مخازن للوقود.

## رصيف الإستلام والشحن

من العناصر الهامة التي يجب مراعتها في المخطط هو عملية الإستلام للخام وعملية الشحن للمنتج النهائي حيث يجب مراعاة كافة الإحتمالات في هذا الشأن من حيث الكم والكيف. ينعكس هذا في مخطط رصيف الإستلام ومساحة المناورة المخصصة للتريلات بالإضافة لعدد نقاط التحميل وفقا لنوعية سيارات إستلام الخام وشحن المنتج النهائي. يجب ألا يقل عرض رصيف التحميل عن 9م وفقا لحجم المشروع أيضا يجب أن يراعي المخطط إتجاهات الريح وأشعة الشمس وتوظيفها لمصلحة المشروع ما أمكن ذلك.

## بوابات المشروع

عدد وعرض وتجهيزات بوابات المشروع من العناصر الهامة لإحكام منافذ الدخول والخروج حيث يجب فصلها عن بوابات دخول العمالة والإداريين والزائرين. يجب الربط بين تلك البوابات والطرق الرئيسية المحيطة بالمشروع وإتجاهاتها بحيث يتم إستغلالها بصورة جيدة ودون تعارض بغرض تسهيل عملية التداول لمنتجات المشروع (شكل 1.9).

### نظم التداول الداخلي

لا بد أن يتوافق المخطط مع نظم التداول المزمع إستخدامها. في حال إستخدام نظام التداول الداخلي الذي يعمل بصورة أتوماتيكية والمصطلح على تسميتة (Autoamatic storage/retrieval system, ASRS) فيجب أن تأخذ متطلبات هذا النظام في الإعتبار من حيث الناحية المدنية والميكانيكية وأن تترك مساحات كافية حول المبنى لزراعة أشجار مثل الجازورينا لكسر قوة الرياح والتي يمكن أن تؤثر على تلك النوعية من المنشآت بفعل أطوالها الغير تقليدية.

**شكل (1.9)**: رصيف التحميل بمخازن تبريد سوق الجملة بالرياض.

### خدمات الماء والصرف

يجب فصل خطوط التغذية بالمياه النقية عن خطوط الصرف وإبعادها عن بعضها ما أمكن. يجب أيضا أن تكون مجاري صرف المياه ذات قاع مستدير، وأن تكون ذات ميل في اتجاه البلاعات بمعدل ميل 1 سم لكل متر طولي، وأن تغطى المجاري بشبك حديد لمنع تساقط أى مواد صلبة داخل المجاري. يجب أيضا أن تكون جدران المشروع من النوع القابل للغسيل. تصميم تمديدات المياه الصناعية المستخدمة في التبريد والأعمال الصناعية الأخرى في دائرة مغلقة للإستفادة من هذه المياه أكثر من مرة ما أمكن ذلك. يجب أيضا أن يتم تجميع مياه التصنيع والغسيل في خزانات لترسيب وفصل المواد العالقة العضوية ومعالجتها في وحدة مخصصة للمعالجة قبل تصريفها إلى مياه مجاري البلدية.

### تهوية الأسقف

يجب وضع مراوح شفط في المسافة ما بين أسفل الهيكل المعدني وسقف غرف التبريد بغرض منع تراكم الهواء الساخن وتسربه لداخل الحيز المبرد. أيضا وفي حال تخزين البطاطس يكون هذا الإجراء هام لمنع تراكم غاز ثاني أكسيد الكربون وإختلاطه بهواء التهوية. يجب إختيار تلك المرواح بمعدلات تدفق تتلائم مع حجم المشروع.

### الممرات الداخلية

الممرات الداخلية يجب أن تكون بعرض كافي بما يسمح بسهولة حركة الروافع الشوكية بحيث يكون في الأتجاهين في نفس التوقيت. في حال كانت الحركة كثيفة مثل الحال في مخازن التبريد العمومية والتي تغطي مدى واسع من درجات الحرارة فيفضل أن يكون عرض الممرات 6 متر (شكل 2.9).

**شكل (2.9)**: الممرات الداخلية بمخازن التبريد.

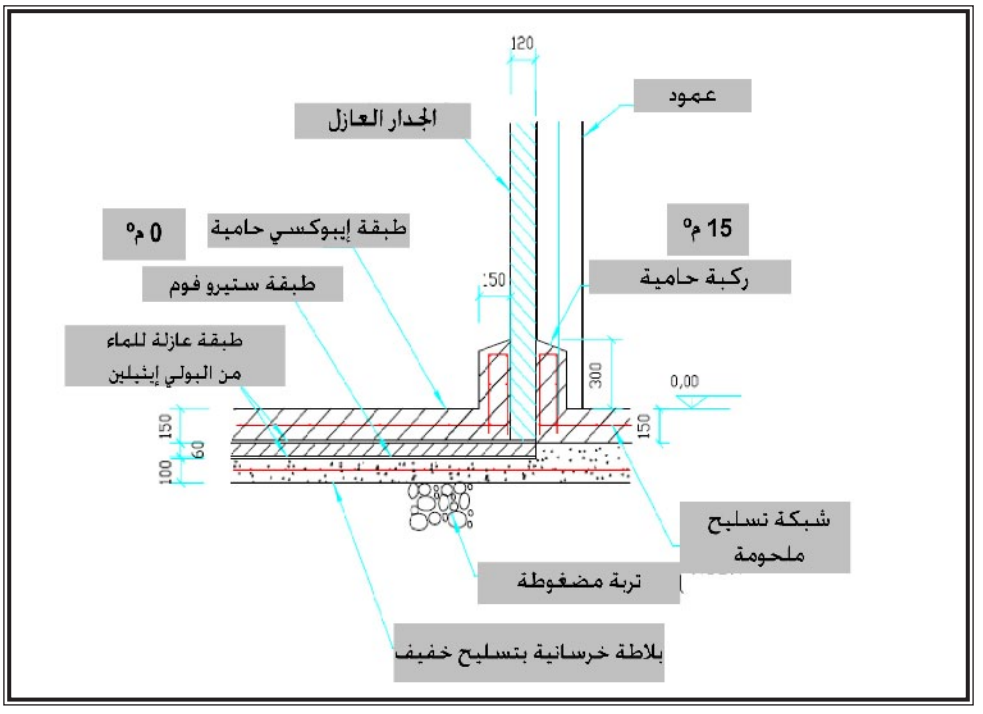
### عزل الأرضيات

يجب عزل الإرضيات وفقا لدرجة الحرارة المرغوبة لكن وفي غالبية الأحيان توضع طبقة من الإستيروفوم ذو كثافة 40 كجم/م$^3$ وبسمك 12 سم على طبقتين مع وجود عوازل مائية أسفل وأعلى طبقة العزل الحراري (شكل 3.9). هذا في حال كانت درجة حرارة المخزن أعلى من الصفر المئوي أما في حال التجميد فيكون سمك العزل 15 سم كما هو موضح بشكل (4.9).

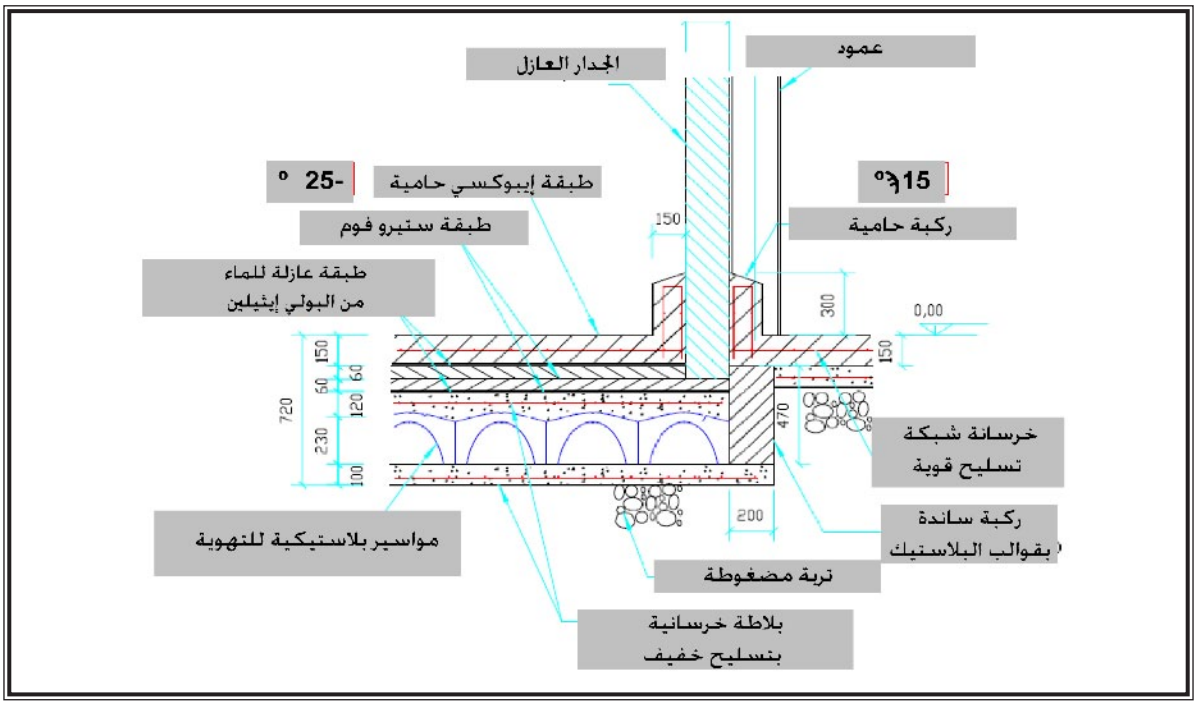
### منسوب المشروع

منسوب المشروع يجب أن يكون مرتفعاً عن منسوب الأرض بصورة كافية ليرتكز على قاعدة خرسانية بإمتداد المشروع وأن تكون مصممة تصميما جيدا لتحتمل كافة الأحمال التي تتعرض لها أثناء عملية التشغيل مثل رصات الطبليات وحركة الروافع

الشوكية وقواعد الهيكل المعدني. منسوب رصيف التحميل يجب ألا يقل عن 1.4م على أن يوجد جهاز لتعويض الفارق في الإرتفاع في حال ما كانت العربات المبردة أعلى من هذا المنسوب (dock leveler) كما هو موضح بالأشكال (5.9 و6.9).




**شكل (3.9)**: تفاصيل عزل أرضية مخازن التبريد.




**شكل (4.9)**: تفاصيل عزل أرضية مخازن التبريد متعددة الأغراض.

**غرفة المحركات**

يجب تحديد مساحة ومتطلبات غرفة المحركات بحذر شديد حيث أنها من أهم المكونات بالمشروع وأن يراعى تدشين أساساتها لتتلائم مع طبيعة الأهتزازت الناتجة من المحركات (شكل 7.9). تشتمل تلك الإحتياطات على ما يلي:

- تجهز الغرفة بكمرات فلاذية سقفية مزودة بالرافعات لنقل المعدات في حال تطلب الأمر أى عملية صيانة لها.

- تتسع لتسمح بسهولة الوصول للمعدات من أى إتجاه بغرض صيانتها.
- تزويد الغرف بكافة إحتياطات الآمان اللازمة وفقا لوسيط التبريد وطبيعة عملية التشغيل والإلتزام بتوصيات المُصنّع في هذا الشأن.
- عادة ما يثبت المكثف التبخيري فوق غرف الماكينات.
- مراعاة إحتمالات التوسع المستقبلي.
- تقليل تمديدات المواسير المطلوبة.
- أن تكون قريبة من تغذية التيار الكهرباء الرئيسي.
- نظيفه وبعيده عن الغبار والأتربة.

## مساحات تخزين

يأخذ في الأعتبار ضرورة وجود مساحات خارجية لتخزين الطبليات الخشبية، الطبليات المعدنية، الصناديق البلاستيكية، أو الصناديق الخشبية الكبيرة (شكل 8.9 وشكل 9.9).

## المرافق الصحية

يجب الإلتزام بالحد الأدنى للمرافق الصحية، وتفاصيلها كما يلي:

1- دولاب ملابس لكل عامل.
2- سلة لتجميع الملابس المتسخة لكل 15 عامل (شكل 10.9).
3- دورة مياه واحدة لكل 15 عامل.
4- حمام (دش) واحد لكل 15 عامل.
5- حوض غسيل لكل 15 عامل.
6- جهاز شرب مياه بارده لكل 60 عامل.
7- حنفية وضوء لكل 15 عامل.

## إحتياطات السلامة

يجب أن يتضمن المخطط كافة الأحتياطات الأمنية المطلوبة لعملية التشغيل مثل مخارج الطوارئ الملائمة وربط المحطة في حال تشغيلها بالأمونيا بمحطة الإطفاء الرئيسية بالمنطقة علاوة على وجوب وجود نظام إطفاء بخزانات المياه اللازم له. يجب أن تتوافر وبأعداد كافية أدشاش الغسيل وأجهزة الإستنشاق وأن توجد في أماكن واضحة خاصة في حال إستخدام النشادر كوسيط تبريد. يجب أيضا حماية أبواب غرف التبريد ،كما هو موضح بشكل (11.9). يجب بصفة عامة مراعاة تنفيذ أعمال السلامة الصناعية التالية:

1- تحديد بوابات ومخارج الطوارئ في المباني المختلفة.
2- تغطية أرضية السلالم والأرضيات بمادة تقاوم الإنزلاق (إيبوكسي

**شكل (5.9)**: جهاز ضبط المستوى لرصيف التحميل من الداخل.

**شكل (6.9)**: أجهزة ضبط المستوى لرصيف التحميل من الخارج.

**شكل (7.9)**: غرف المحركات بأحد مشاريع التبريد.

**شكل (8.9)**: تخزين الطبليات المعدنية بداخل حدود المشروع.

كما هو موضح بشكل(12.9)، مع وضع حواجز واقية حول السلالم ودرجة ميل آمنة من الإنزلاق، على أن يشمل الأماكن التي يتجاوز إرتفاعها 1.5م وخاصة داخل صالات الإنتاج.

3- تحديد موقع خزانات الوقود والمياه بجوار أسوار المشروع.

4- تحديد مواقع رشاشات الطوارئ وغسيل العيون خاصة في حال إستخدام غاز النشادر كوسيط تبريد.

5- تأمين نظام إنارة طوارئ داخل جميع المباني بحيث يؤمن إنارة كافية للحركة خلال فترة إنقطاع التيار الكهربائي.

6- تحديد غرفة إسعافات أولية وتزويدها بكل ما يلزم من أدوات ومواد إسعاف، وأن تكون مناسبة لعدد عمال المشروع.

7- تزويد شبكة الحريق المائية الخارجية بحنفيات الحريق (هيدرنت)، لتوفير الحماية الخارجية للمشروع، وأن تكون شبكة الحريق مغلقة.

8- تزويد شبكة الحريق المائية الداخلية بخزان مياه لا تقل سعته عن ساعة تشغيل.

9- توزيع طفايات الحريق اليدوية على جميع أجزاء المشروع، مع تحديد النوع والحجم والعدد اللازم، وتحديد أماكنها مع أماكن خروج الطوارئ.

10- وضع كواشف دخان حسب استخدام المكان، وخاصة في المخازن التي تحتوي على عبوات ومستلزمات ورقية، أو مواد كيميائية.

**شكل (9.9)**: تخزين الصناديق الخشبية الكبيرة بداخل حدود المشروع.

**شكل (10.9)**: غرف تغيير الملابس بمشاريع تخزين مبرد ومحطات تعبئة.

**شكل (11.9)**: حماية أبواب غرف مخازن التبريد.

## مخازن المواد الكيمائية ومواد التغليف والتعبئة

يجب مراعاة الجوانب التالية عند تصميم مخازن المواد الكيميائية ومواد التعبئة والتغليف (شكل 13.9):

1- جيدة التهوية.

2- أن يكون مظلل ومحمي من أشعة الشمس.

3- القرب من خطوط الإنتاج.

4- النظافة التامة.

5- سهولة الشحن والتفريغ.

6- البعد عن أماكن الورش والغلايات.

7- العزل الجيد للمخزن للمحافظة على درجة حرارة معتدلة.

8- تخصيص أماكن لكل نوعية من أنواع العبوات ومواد التغليف.

9- تزويد المخازن والمستودعات بأرفف وقواعد خشبية لإحكام التنظيم.

10- التزويد بوسائل النقل والتداول مع وجود مسافات تكفي لمرور هذه الوسائل لسرعة الشحن والتفريغ.

## مراحل تطوير المخطط

يمر تطوير المخطط بعدة مراحل تحتوي على العناصر الوظيفية المحددة لأهداف المشروع ويتم تطويره وفقا لنسب الإشغال المثلى وللتوظيف الأمثل للمساحات المتاحة. أحد المعايير الهامة لإقرار مخطط محدد هي:

1- أعلى نسبة إشغال ممكنة.
2- أقل مساحة هدر.
3- سريان وسلاسة الحركة.
4- إمكانية التوسع المستقبلي.
5- التوافق مع موقع المشروع من حيث شبكة الطرق المتاحة.
6- توافر كافة المكونات والخدمات المساندة.
7- إنخفاض تكاليف التشغيل.
8- إنخفاض التكاليف الإستثمارية.

يتم تطوير المخطط على عدة مراحل حيث يبدأ بالفكرة التصميمية وبطرح عدة حلول وأفكار للأستغلال الأمثل للموارد والأصول الموجودة في الموقع ليتم الإستفادة منها لصالح المشروع. يتم تطوير عدة بدائل وتقارن سويا وفقا للمعايير السابق شرحها ومن ثم يتم إختيار أفضلها.

**شكل (12.9)**: حماية أرضيات المشروع بالإيبوكسي.

**شكل (13.9)**: مخازن المواد الكيمائية بأحد مشاريع التخزين المبرد والتعبئة.

### الخلاصة

توجد معايير محددة لأختيار مخططات مشاريع التخزين المبرد حيث زيادة السعة التخزينية، قلة التكلفة الإستثمارية، سهولة وسلاسلة الحركة، إستغلال كافة الموراد بالموقع تعتبر من أهم العوامل للحكم على صلاحية مخطط بعينه. يجب على المصمم بذل كافة الجهد لتضمين المشروع كافة إحتياجاته من الخدمات المساندة وأن يراعي إحتمالات التوسع المستقبلي.

## الفصل العاشر

# الإتجاهات الحديثة فى مجال التخزين المبرد


### الملخص

تشتمل الإتجاهات الحديثة في مجال التخزين المبرد للحاصلات البستانية علي مجموعة من التقنيات الصديقة للبيئة والموفرة للطاقة بغرض زيادة جدوى تلك المشاريع وجعلها سهلة التشغيل، الصيانة، ومنسجمة مع البيئة المحيطه. توجد عدة طرق جديدة تعتمد على وسائط تبريد ثانوية تقلل من شحنة وسيط التبريد الإولي سواء كان النشادر أو الفريونات العادية. سيستعرض الفصل الحالي الطرق التي تم تطبيقها فعليا وأثبتت جدوها سواء في الخزن المبرد أو التبريد السريع. تتضمن تلك التقنيات استخدام ثاني أكسيد الكربون وما يوفره من مميزات عديدة. أيضا سيتم مناقشة ملاط أو معلق الماء والثلج والمصطلح على تسميته الثلج السائل. أخيرا سيتم عرض مفهوم المخازن عالية الإرتفاع أتوماتيكية التشغيل والتي تستخدم نظم الإرفف ذات الرافعات آلية الحركة.


### مقدمة

توجد عدة إتجاهات حديثة في مجال التخزين المبرد للحاصلات البستانية جاري تطبيقها في العديد من الدول الغربية حيث تمثل قضية البيئة وسلامتها وكذلك الحد من إستهلاك الطاقة محورا هاما كان ولايزال هو الدافع وراء العديد من التقنيات المستحدثة والجاري تطبيقها في هذا المجال. تستند تلك التقنيات على استخدام ما أصطلح على تسميتة بالتقنيات الخضراء أى صديقة البيئة غير الملوثة لها. توجد العديد من المؤسسات والمعاهد على مستوى العالم التي تشجع وتؤيد وتدعم مثل تلك التقنيات. نحن في الوطن العربي يجب أن نتبنى هذا التوجه بغرض دعم السلامة والأمان البيئي كجزء لا يتجزأ من التوجهه العالمي في هذا الإطار.

في ضوء ما سبق سيتم التعرض للتقنيات التي تم استخدامها وثبت كفائتها ويتم تداولها وإنتاجها على قطاع واسع وفي العديد من الدول. يجب الإشارة أنه في مجال الخزن المبرد وتداول الحاصلات البستانية والخضروات توجد العديد من العوامل التي يجب الموائمة بينها ومراعاتها عند تطبيق أى من تلك التقنيات. سيشتمل النقاش على التبريد بغاز ثاني أكسيد الكربون، التبريد باستخدام الثلج السائل وأخيرا مخازن التبريد عالية الإرتفاع آلية التشغيل.

### أولا: التبريد بغاز ثاني أكسيد الكربون

ثاني أكسيد الكربون من الغازات التي تتكون بصورة طبيعية وكثير الإستخدام في العديد من الصناعات مثل المياه الغازية والعديد من التطبيقات الصناعية الأخرى. عند استخدامه كوسيط تبريد تبلغ تكاليفه حوالي 10 % إلى 20 % من تكاليف استخدام وسائط التبريد الأخرى. بعض الدول تفرض ضرائب على استخدام الفريونات العادية وتكون وحدة الأوزان من ثاني أكسيد الكربون أرخص بمائة ضعف عن وسائط التبريد الأخرى. توجد العديد من محطات التبريد خاصة في المملكة العربية السعودية والتي تعمل بغاز ثاني أكسيد الكربون والذي يصنف على أنه وسيط تبريد طبيعي نظرا لكونه أحد مكونات الهواء الجوي كما سبق إيضاحه. استخدام غاز النشادر يتضمن العديد من المخاطر وقد بدأت العديد من الدول تطبيق معايير مشددة ووسائل رقابية صارمة على استخدام النشادر نظرا لإحتمالات تسربها ومن ثم فإن التركيزات العالية منها تؤدي إلى أضرار جسيمة على كل من الإنسان، المنتج، والبيئة المحيطة. على سبيل المثال وفي فرنسا لا يسمح بمشاريع النشادر الكبيرة بالتوسع بنفس وسيط التبريد بل عليهم استخدام ثاني إكسيد الكربون. أيضا تم تطوير وحدات صغيرة ملائمة لعمليات التبريد الخاصة بالأسواق المجمعه (السوبر ماركت والهايبر ماركت) ويتم تداولها الآن على نطاق تجاري واسع في إمريكا وأوروبا.

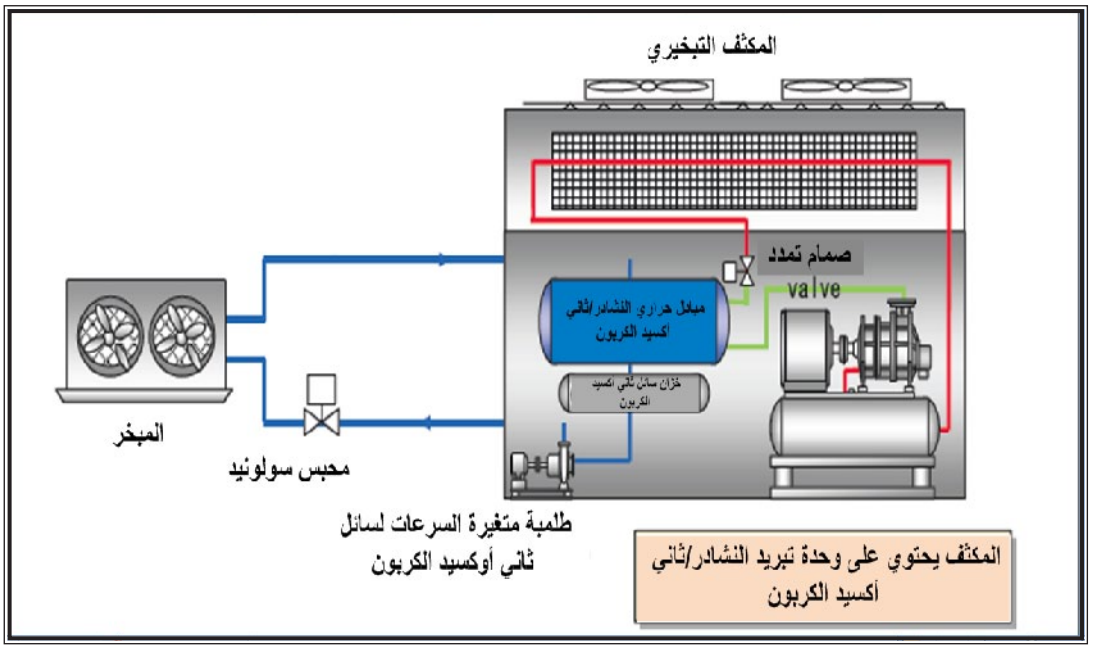
من أحد الداوفع الهامة لإستخدام ثاني أكسيد الكربون الحد من الإستهلاك المتزايد للطاقة حيث أن ثاني أكسيد الكربون يوفر الطاقة ويعرض الكثير من المميزات في هذا الشأن. منذ بداية هذا العقد تضاعف عدد المشاريع التي طبقت تلك التقنية ففي أحد الدول

الأوربية وفي عام 2001 كان عدد المشاريع 4 وقفزت إلي 27 مشروع في عام 2004 لتصبح أضعاف هذا الرقم حاليا وكذلك الحال في الولايات المتحدة.

المصاريف الثابتة والجارية للنظم التعاقبية التي تعمل بغاز النشادر/ثاني أكسيد الكربون مقارنة بنظم المرحلتين التي تستخدم النشادر فقط تتوقف على:

1- ظروف التشغيل.
2- درجات الحرارة المطلوب تحقيقها وظروف الهواء الخارجي.
3- الإختيار الملائم لعناصر نظام التبريد.

للتأكد من إقتصاديات نظام التبريد لمشاريع تبريد الحاصلات البستانية يجب عمل مقارنة دقيقة بين هذا الخيار والخيارات التقليدية الأخرى المتاحة غير أنه من المؤكد أنه وباستخدام التقنيات الحديثة ستنخفض الشحنة المبدئية لغاز النشادر لتكون في حدود 20 % من تلك المستخدمة في النظم التقليدية. حديثا تم تطوير نظام يعمل بثاني أكسيد الكربون يشتمل على مدى درجات الحرارة اللازم لعمليات التبريد السريع والخزن المبرد حيث يعتمد مفهوما مماثلا للتبريد بالدوائر الثانوية السابق التعرض لها والتي تستخدم خليط الجليكول والماء. في هذا النظام أمكن الحفاظ على غاز ثاني أكسيد الكربون في الحالة السائلة في مدى واسع من درجات الحرارة بدئاً من -5 إلي -25م°. يتم تبريد غاز ثاني أكسيد الكربون بشحنة قليلة من النشادر وذلك من خلال مبادل حراري ويتم وضع هذا المبرد على سطح المبنى ومن ثم لا تكون المواد المخزنة أو العاملين في المشروع عرضة لغاز النشادر في حال حدوث أى تسريب.




**شكل (1.10)**: أساسيات وحدة تبريد النشادر/ثاني أكسيد الكربون.

كما يتضح من مخطط (1.10) فإن النظام يتكون من مبادل حراري يتم فيه تبريد أو سحب الحرارة من سائل ثاني أكسيد الكربون والتي يقع تحت ضغط عالي يسمح ببقائة في الحالة السائلة عند تلك الدرجات المنخفضة. يتم تداول السائل من خلال طلمبة متغيرة السرعات للتحكم في مدى التبريد عن طريق التحكم في كمية وسيط التبريد المغذاة للمبخر حيث تتم التغذية من خلال محبس السولونيد الموضح بالشكل والذي يكون أيضا مفيدا في عمليات الصيانة في حال تطلب الأمر عزل المبخر عن بقية النظام. يتم تغذية المبخر المتواجد في غرف التبريد من خلال خزان يتم فيه تجميع سائل ثاني أكسيد الكربون ليتدفق عبر صمام السولونيد (محبس مرور وسيط التبريد بناء على درجة الحرارة) بمعدلات تتوافق مع حمل التبريد المطلوب حيث يتغير هذا المعدل وفقا لإشارة درجة

**شكل (2.10)**: نظام تبريد باستخدام النشادر/ثاني أكسيد الكربون.

الحرارة القادمة من المبخر ليزداد معدل التدفق بإرتفاع درجة الحرارة والعكس صحيح. بناء على إشارة درجة الحرارة القادمة يفتح أو يقفل الصمام (السولونيد). بخارالأمونيا الناتج عن إمتصاص الحرارة المنتقله له من ثاني أكسيد الكربون يتم التخلص منه من خلال المكثف التبخيري ليتم تجميعها بعد ذلك لتغذية المبادل الحراري. ثاني أكسيد الكربون الخارج من المبخر والمحمل بحرارة المنتج يتم التخلص من حرارتة بنقلها للنشادر ليعود باردا مرة أخرى ويتم خزنه في الخزان الموضح. بناء على ماسبق فإنه وفقا للضغوط المصممة عليها الدائرة يمكن تحقيق درجات حرارة متباينة تصل من -5 إلي -25م° . للمبردات السريعة بدفع الهواء، المبردات المائية، الثلج السائل أو المجروش، مخازن التبريد تكون درجة حرارة التبخير المطلوبة في حدود -8 إلي -5م° ،من ثم يمكن لهذا النظام تحقيقها بسهولة. يمكن تطبيق هذا النظام أيضا لمخازن العنب، والتفاح، الفراولة، الكمثرى، البصل وغيرها.

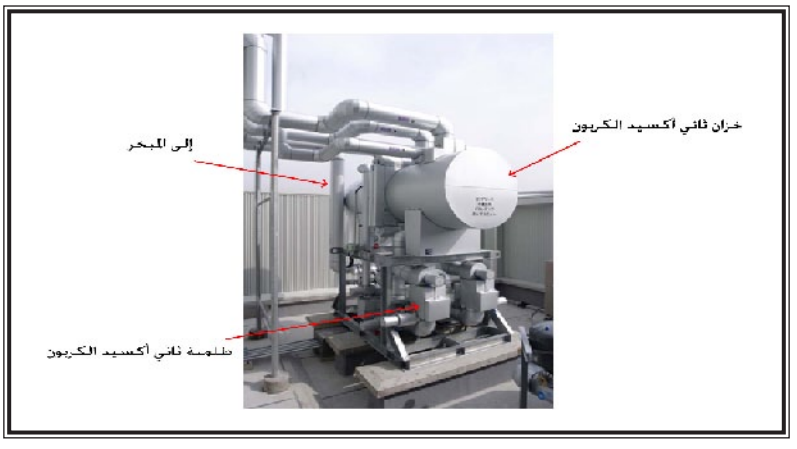
يوضح شكل (2.10) نظام التبريد باستخدام النشادر/ثاني أكسيد الكربون المركب على سطح أحد المباني في أحد المشاريع باليابان حيث ما يوفره من إجراءات السلامة والآمان في التشغيل عالية. أيضا يوضح شكل (3.10) تفاصيل إضافية في حين يوضح شكل (4.10) المبخرات المستخدمة مع النظام والمتواجدة في حيز التبريد الداخلي التي تحتوي فقط على سائل ثاني أكسيد الكربون. ومن ثم في حال حدوث أى تسريب يكون فقط لثاني أكسيد الكربون وهو غير ضار بالإنسان ولا بالمنتج إلا في ظل تركيزات عالية يصعب الوصول لها. تلخيصا لما سبق فإن مميزات النظام تشتمل على توفر العناصر التالية:

1- الدوائر ذات الضغط المنخفض في دائرة التبريد.
2- شبكة مواسير السحب والعزل الخاص بها وكذلك المحابس.
3- خزانات النشادر.

لكن هذا النظام يعتبر غالي الثمن في المكونات التالية:

1- نظام المواسير نظرا للضغوط العالية التي يعمل عليها.
2- خزانات السائل لنفس السبب السابق.
3- محابس التحكم لنفس السبب السابق.

إرتفاع أسعار تلك المكونات يختلف من مشروع لأخر وفقا للعديد من العوامل غير أنه يوجد حاليا العديد من الشركات العالمية التي بدأت في تصنيع تلك المكونات وبالتالي إنخفضت أسعارها وزاد إستخدامها بصورة ملحوظة. مرة أخرى فإن الميزة الرئيسية لهذا النظام هو استخدام شحنة قليلة للغاية من النشادر ووضعها خارج المحطة مما يشكل عنصر سلامة وآمان بالإضافة للحفاظ على البيئة المحيطة. يجدر الإشارة إلى أنه فقط وفي حال تسرب غاز ثاني أكسيد الكربون وبكميات كبيرة فإنه يشكل خطر على الإنسان حيث لا يجب أن يتعرض الإنسان لتركيزات أعلى من 3 % لمدة عشرة دقائق. للتأثير الفوري على صحة الإنسان فإن التركيزات




**شكل (3.10)**: التفاصيل الداخلية للنظام.

**شكل (4.10)**: مبخرات نظام التبريد باستخدام النشادر/ ثاني أكسيد الكربون.

يجب أن ترتفع في حدود من 10-12 % وهو ما يتطلب وقت طويل للوصول لتلك التركيزات حيث عادة ما يتم تضمين النظام العديد من الحساسات التي تقيس التركيز وفي حال حدوثه ولو بنسب ضئيلة يتم وقف النظام والتنبية على الفنيين لإتخاذ ما يلزم. في حال حدوث تسريبات غالبا ما تتكون كميات من الثلج وسريعا ما تتسامى للجو الخارجي. يجدر الإشارة إلي أن التسمية الشائعة في العالم العربي لهذا النوع من وسائط التبريد هو الثلج الجاف وهو غير ضار حيث يمكن وبسهول تنظيف غرف المحركات منه. حساسات ثاني أكسيد الكربون يحب تركيبها في كل من غرفة المحركات والطرقات بالإضافة لغرف التبريد حيث يتم ضبطها على 1 % تركيز وهو ما يُسمح بالتعرض له فترات طويلة في غالبية الدول. ثاني أكسيد الكربون غير قابل للإشتعال أو الإنفجار عند أى تركيز بل على العكس من ذلك فهو يستخدم في عمليات الإطفاء. تجدر الإشارة لبساطة تركيبات نظم ثاني أكسيد الكربون والفارق الرئيس بينها وبين النظم الأخرى هو نظام إذابة الثلج المُتكون حيث تتباين تكاليف النظم المتاحة وهي:

1- الغاز الساخن.
2- الإذابة بالسخانات الكهربائية.
3- الماء.
4- الجليكول (داخليا وخارجيا).
5- الهواء.

يجب تقييم نظم الإذابة وفقا لكمية الحرارة التي تضيفها لحيز التبريد ولتكاليفه الرأسمالية وتكاليف التشغيل. من النظم الجيدة والشائعة الإستخدام مع ثاني أكسيد الكربون هو الإذابة بالماء.

### ثانيا: الثلج السائل

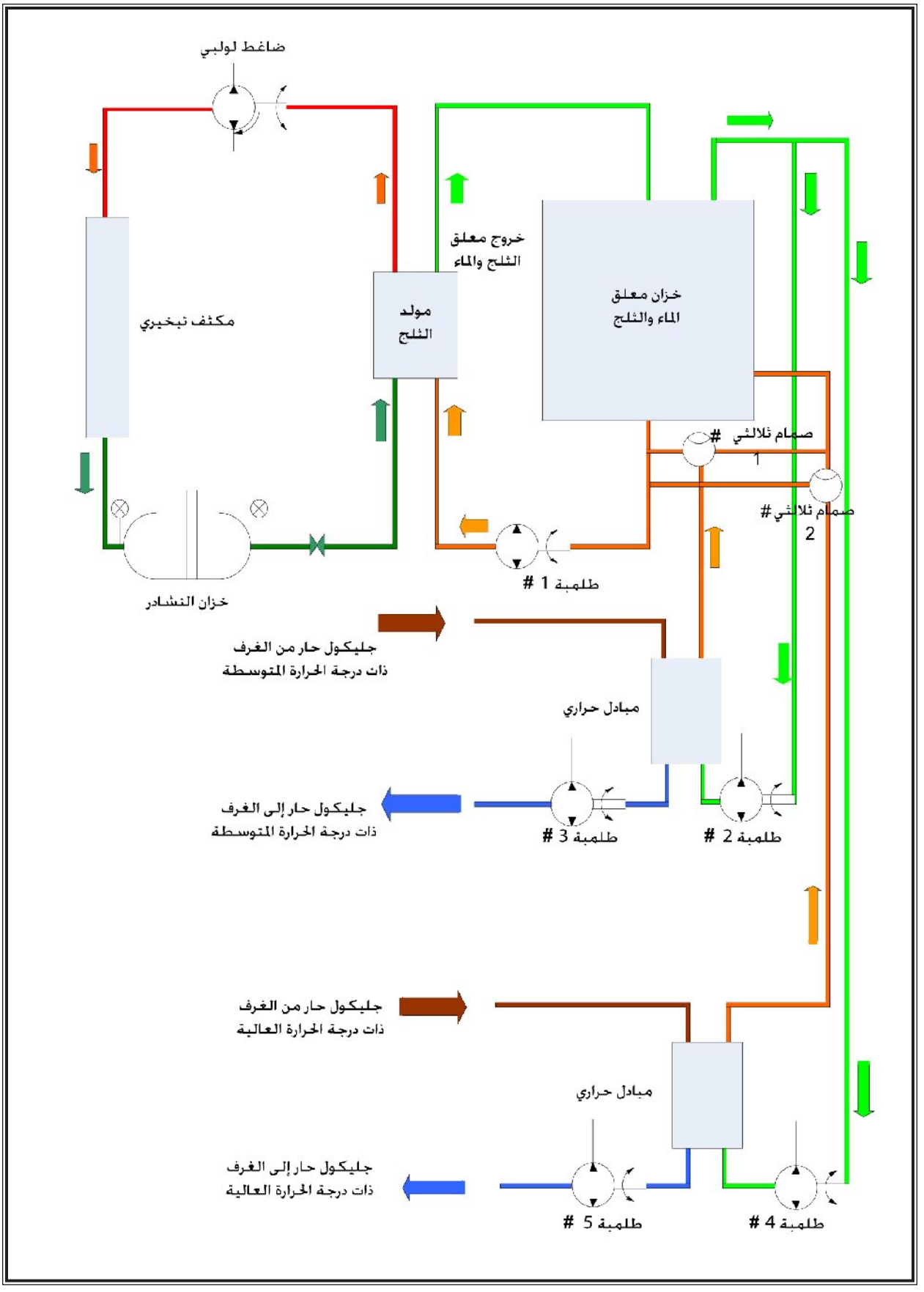
للثلج السائل عدة مسميات ومنها Binary Ice وأحيانا Slurry ice أو الثلج السائل Liquid ice. كل تلك المسميات تشير لاستخدام معلق من الماء وبلورات الثلج متناهية الصغر والدقة في درجة حرارة أدنى من درجة تجمدها مع بقائها في حالة قابلة للتدفق. حجم تلك البللورات يكون في حدود 50 إلي 500 مللي ميكرون. نسبة الماء في الخليط تتروح من 65 إلي 80 % وفقا لدرجة الحرارة المطلوب تحقيقها. عادة ما يضاف الميثانول لهذا المعلق حيث أن الأثر التبريدي لتلك البلورات يكمن في المساحة السطحية المتاحة لإنتقال الحرارة ومن ثم تحولها للحالة السائلة وما يستتبعه من إمتصاصها لكميات كبيرة من الحرارة تعادل الحرارة الكامنه للإنصهار واللازمة لتغير الطور بها.

يوضح شكل (5.10) الفكرة الأساسية لتلك النظم حيث يوضح التصميم تطبيق معلق الثلج لتبريد نطاقين من درجات الحرارة إحداهما لغرف إنضاج الموز ومنتجات أخرى حيث مدي درجات الحرارة من 10 °م فما فوق في حين المدى الأخر لغرف تخزين البطاطس ولها متوسط درجة الحرارة 4 °م. يتكون النظام من عدة دوائر غير أن الدائرة الرئيسية هي تلك التي يتم فيها تغذية مولدات الثلج بوسيط التبريد (النشادر). بناء على تلك المرحلة يتم تصنيع الثلج حيث يتم حصاده وتخزينه في خزان رئيسي معزول وذو حجم ملائم لطاقة النظام حيث يمكن تصنيعه من البلاستيك أو الأستنالس ستيل ويوضع في مكان مظلل ويفضل أن يكون معزول ما أمكن ذلك. يوجد بالخزان مقلب ليحافظ على تجانس المعلق حيث الحرارة المضافة بفعل المقلب تأخذ في الإعتبار أثناء عملية التصميم بإعتبارها حمل حراري. توجد طلمبة (رقم1) بمستوى أدنى من قاع الخزان تقوم بسحب المياه

الذائبة بفعل الحرارة المضافة من المقلب والمتسربة للخزان حيث تعيد تغذيتها لمولد الثلج بصفة دائمة. توجد العديد من أنواع مولد الثلج حيث يتكون بصورة أساسية من أنابيب يسري بها وسيط التبريد وهو في الحالة السائلة لتتجمد طبقات المياه الرقيقة حول تلك الأنابيب ويتم كشطها بمجموعة من الأسلحة الرقيقة بصفة مستمرة (Scraping mechanism). بمعني أخر يعمل مولد الثلج كمبادل حراري لتنتقل الحرارة من الماء إلي النشادر وتتحول من الحالة السائلة إلي الحالة البخارية والعكس بالنسبة للماء حيث يفقد الحرارة ويتحول من الحالة السائلة لحالة التجمد بفعل سحب الحراره الكامنه للتجمد (أو الإنصهار) منه. توجد دائرتان ثانويتان الأولى خاصة بالغرف ذات درجة الحرارة المتوسطة حيث يتم تبادل الحرارة ما بين الجليكول القادم من مبخرات تلك الغرف مع معلق الماء والثلج خلال مبادل حراري يتم تغذيتة من الخزان الرئيسي لمعلق الماء والثلج من خلال طلمبة رقم (2). يدخل الجليكول ساخنا ويخرج باردا في حين لمعلق الماء والثلج وبفعل الحرارة الممتصة يخرج ساخنا ليتم دفعه مرة أخرى إلي الخزان. في حال بقاء نسبة الماء إلي الثلج كما هي يدفع الخليط مرة أخرى للمبادل الحراري. في حال ذوبان كل الثلج يتم دفعه للمولد مرة أخرى. توجد حساسات عند نقطة الخروج لقياس جودة المعلق وبناء علية يتم إرسال إشارة للصمام الثلاثي لإحداث أى من الخطوات التالية:

1- في حال تحقيق درجة الحرارة المرغوبة يتم تدوير المعلق مرة أخرى لذات المبادل الحراري لمنع مزيد من الإنخفاض في درجة الحرارة.
2- في حال جودة المعلق يمكن دفعه للخزان وخلطه مع ما هو مخزن.
3- في حال إنخفاض جودة المعلق يدفع مباشرة لمولد الثلج.

الدائرة الثالثة مماثلة للدائرة الثانية غير أنها للغرف ذات درجة الحرارة المرتفعة. من أهم مميزات هذا النظام هو مفهوم الخزن الحراري (Thermal storage) حيث يمكن تصنيع الثلج في أرخص ساعات الطاقة ليلا ومن ثم يتم خزن المعلق في الخزان المعزول ليتم استخدامه نهارا (شكل 6.10). أيضا في حال إنقطاع الكهرباء فإنه لا ينعكس ذلك على إنقطاع القدرة على التبريد فورا حيث يمكن استخدام المخزون لفترة زمنية وفقا لحجم المخزون وجودته. يضاف للمعلق العديد من الإضافات مثل الكحول وبعض الأملاح وذلك للتحكم في درجة الحرارة.




**شكل (5.10)**: نظام التبريد بمعلق الماء والثلج ومكوناته المختلفة.

السعات المتاحة لهذا النظام تتروح من 3 ك.وات وحتي العديد من الميجا وات. بمقارنة هذا النظام بالنظم العادية ولنفس القدرة فإنه يتيح أربعة أضعاف السعة التبريدية بفعل إستغلال مفهوم الحرارة الكامنه للثلج نتيجة الصغر المتناهي لحجم الجزيئات. يمكن تلخيص مميزات هذا النظام وفقا للنقاط التالية:

1- إمكانية الخزن الحراري.
2- الوفرة في الطاقة.
3- صديق للبيئة.
4- يمكن تطبيقه على نطاق واسع سواء لعملية التبريد السريع أو التخزين المبرد.
5- إنخفاض عملية الصيانة المطلوبه.
6- مصداقية النظام حتى في حال إنقطاع الكهرباء.
7- وفرة في التكاليف الإستثمارية بفعل إنخفاض قطر المواسير.
8- وفرة في التكاليف الإستثمارية بفعل السعة التبريدية المتاحة.
9- الحفاظ على رطوبة عالية وثبات درجة الحرارة.
10- الآمان وسلامة التشغيل.

**شكل (6.10)**: عملية تداول معلق الثلج والماء.

## ثالثا: مخازن التبريد عالية الإرتفاع آلية التشغيل

تشكل السعات التخزينية الممكنة داخل حيز معين واحدة من أهم العوامل التصميمة الخاصة بمخازن التبريد والتي يتم بناء عليها تحديد مساحة أرض المشروع ونظام التداول الداخلي الأمثل. بناء على الحجم الداخلي والسعة التخزينية يتم تقدير السعة التبريدية بالإضافة للعديد من العوامل الأخرى التي سبق نقاشها. أثبتت الدراسات الحديثة أنه وللمخازن التقليدية فإن نسب إستغلال الحيز الداخلي شديدة الإنخفاض وأن الهدر شديد في ملأ الحجم الداخلي بوحدات تخزين المنتج بفعل محدودية الإرتفاعات ووجوب ترك ممرات داخلية لنظم التداول المعتادة والتي تكون عادة طبليات معدنية وروافع شوكية. لإيضاح ما سبق نوضح الحالة الفعلية التالية:

- نوعية نظام التداول الداخلي: نظام أرفف مزدوجة العمق.
- المساحة المخصصة لكل بالتة: 0.72 م$^2$.
- عدد البالتات الكلي: 20000 بالتة.
- المساحة الكلية الفعلية القائمة للمشروع: 14860 م$^2$.
- إرتفاع المبنى: 14.62 م.
- صافي الإرتفاع: 12.19 م.
- عدد البالتات الرأسية: 7 بالتات.
- إرتفاع البالتة الواحدة: 1.8 م.
- الحجم الكلي للمبنى: 217400 م$^3$.
- الحجم لكل بالتة: 10.87 م$^3$/بالتة.
- الحجم الفعلي للبالتة: 2.26 م$^3$ (1*1.2*1.8) .
- الحجم الفعلي المستخدم: 21 %.

بفرض ترك مساحة إضافية للخدمات الداخلية مثل الممرات والمساحة أسفل المبخر والمساحة اللازم تركها فوق رصات المنتج بغرض تدوير الهواء وبفرض أنها تشغل 29 % من الحجم الداخلي فإن الهدر الكلي في الحجم يكون في حدود 50 %. المشكلة الأساسية تكمن في التكاليف الإستثمارية التي تفرضها تلك المشاريع مثل:

1- مساحة الأرض المطلوبة للمشروع كبيرة وربما تكون غالية الثمن.
2- الأعمال المدنية كثيرة ومكلفة.
3- هيكل معدني كبير ومكلف.
4- سعة تبريدية وفقد حراري كبير.
5- كثافة العمالة المطلوبة للمشروع.
6- ظروف تشغيل صعبة.
7- تدني الإجراءات الصحية وضعف شروط الآمان.
8- صعوبة عمليات الصيانة.

لإيضاح ما سبق وللنقطة الأولى فإنه كلما صغرت مساحة الإرض المطلوبة وزادت السعة التخرينية فإن هذا يعني زيادة كفاءة المشروع وزيادة جدواه الإقتصادية. من القواعد البديهية في عمليات التخزين المبرد هو أن التوسع الرأسي عادة ما يكون أرخص وأجدى من التوسع الأفقي. يستتبع زيادة مساحة الأرض المخصصة للمشروع زيادة الأعمال المدنية مثل الأرضيات الخرسانية وعمليات التشطيب اللازمة لها وكذلك القواعد الخرسانية اللازمة للهيكل المعدني وغيرها من البنود والتي تشكل عنصر رئيس من تكاليف المشروع.

الهيكل المعدني عادة ما يكون إما قياسي وذلك للإرتفاعات المنخفضة غير أنه لمخازن التبريد المرتفعة (إكثر من 8 متر) فإن الهيكل المعدني يصمم خصيصا لهذا الغرض (Pre Engineered) ويحتاج لحسابات خاصة تراعي الكثير من العوامل. تعتبر تلك النوعية من الهياكل المعدنية غالية الثمن نظرا للإعتبارات السابقة وما تحتاجه من جهود إضافية في التصميم. من العوامل الهامة التي يجب مراعاتها في هذا التصميم ما يلي:

1- الأحمال الثابتة التي سيتعرض لها الهيكل مثل وزنه، وزن ألواح العزل، المواسير التي سيتم تثبيتها أعلاه وغيرها من الأحمال الثابتة.
2- أحمال حية والتي ينتج عنها إهتزازات مثل مبخرات التبريد المعلقة والتي يوجد بها مرواح وممتلئة بوسيط تبريد متغير الطور بصفة دائمة.
3- قوة وأتجاه الريح.
4- أشعة الشمس وما ينتج عنها من إجهادات حرارية.

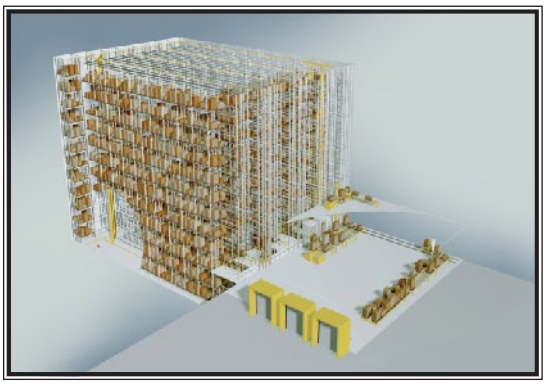
فيما يتعلق بالسعات التبريدية فإنها تزيد بزيادة المساحة حيث يهدر جزء كبير منها في الحفاظ على برودة المبنى بأرضيته وجدرانه وسقفه وليس بالضرورة أن يستفيد المنتج المخزن من تلك السعة إستفادة مباشرة. في المخازن التقليدية يكثر عدد الأبواب وغالبا ما تكون خارج السيطرة ومن ثم تهرب البرودة عبرها للخارج وتكثر عملية تجديد الهواء الداخلي مما يشكل عبئ كبير علي نظام التبريد. يؤدي هذا لزيادة ساعات التشغيل وتذبذب الحرارة الداخلية بالإضافة لتكون الصقيع وغيرها من المشاكل. في النهاية يزيد ما سبق من المصاريف الجارية للمشروع ويقلل من العمر التشغيلي له.

في نظم التداول الداخلية بالأرفف مزدوجة العمق يتطلب الإمر قطع مشاوير طويلة من قبل الروافع الشوكية بغرض التحميل والتنزيل. أيضا يكون عدد العمالة المطلوبة كثيف خاصة في حال وجود حركة كبيرة بالمخازن. في حال تقسيم العمل في المشروع على عدة دوريات يجب مراعاة توفر نفس القدر من العمالة في كل وردية. أيضا يضاف لما سبق تعرض القائمين على

التشغيل لإختلاف في درجة الحرارة طوال الوقت مما يسبب الكثير من المشاكل الصحية. ما لم تكن أرضية المشروع شديدة الأستواء والأرفف جيدة التصميم وثابتة فإن الأمر يشكل خطورة بالغة عند التحميل والتنزيل من الأرفف العالية حيث تحدث الكثير من الحوادث بسبب الإنزلاق وعدم التحميل من النقاط الملائمة. أيضا فإن كثرة دخول وخروج الأشخاص تؤثر بصورة مباشرة على ما يفترض توفره بمخازن الخضروات والفاكهة من إجراءات صحية عالية.

أخيرا وفيما يتعلق بعمليات الصيانة فكلما كبر حجم المبنى وزادت قدرة المعدات والمكونات الخاصة به فإنه وبالتبعية تتطلب عمليات صيانة جيدة التخطيط ومحكمة التنفيذ بغرض الحفاظ على المنتج المخزن وكذلك منع أى أعطال محتملة.

بناء علي ما سبق فإن المفهوم الجديد والمتنامي في هذا القطاع هو مخازن التبريد العالية والتي تعمل بصورة أوتوماتيكية بالكامل (شكل 7.10). توفر تلك النوعية من المخازن العديد من المميزات التي تنعكس بصورة مباشرة على جدوى المشروع سواء في المدى القصير أو في المدى البعيد. يوجد عدد كبير من تلك المشاريع جاري تنفيذه في بعض الدول الغربية. يمكن تلخيص تلك المميزات في النقاط التالية:



**شكل (7.10)**: إحدى نماذج مخازن التبريد عالية الإرتفاع آلية التشغيل.

1- يتطلب مخطط المشروع (Footprint) مساحة أقل.
2- إنخفاض الأعمال المدنية للمشروع مثل الأرضية الخرسانية، تسوية الأرضيات.
3- عدم الحاجة للهيكل المعدني.
4- محدودية العمالة الداخلية.
5- إنخفاض السعة التبريدية المطلوبة للمشروع.
6- عدم الحاجة للروافع الشوكية.
7- زيادة الحجم الداخلي المستغل مما يعني كفائة المشروع العالية.
8- سرعة عمليات التحميل والتنزيل.

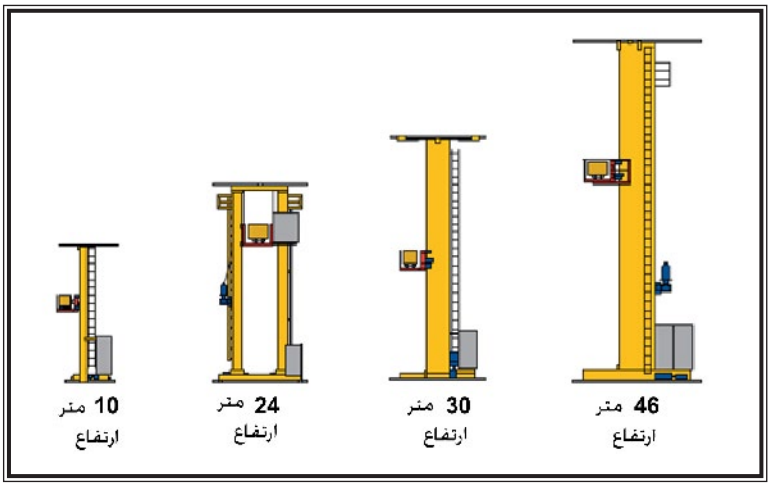
لإيضاح ما سبق وبصورة عملية ولتلك المخازن وللمقارنة مع الحالة السابقة وبإفتراض أن الأرتفاع يبلغ 38 م، سوف يترك إرتفاع قدره 1.52م لتدوير الهواء بمواجهة المبخر لتكون المساحة المطلوبة لكل 20000 بالتة هي 3345 م$^2$ وبالتالي تكون مساحة الأرضية المطلوبة هي 127400 م$^2$ أي ستشغل البالتة حجم قدره 6.37 م$^3$/بالتة. الحجم الفعلي للبالتات هو 45200 م$^3$ ومن ثم سيكون الحجم الداخلي المستغل هو 36 %. يضاف لما سبق نسبة للخدمات وهي 29 % وبالتالي تكون نسبة إستغلال الحجم الداخلي هي 65 % وهي نسبة مقبولة وجيدة لتلك النوعية من المشاريع مقارنة بنظام الإرفف الثابتة مزدوجة العمق.

في المثال السابق كان العامل المتغير الوحيد هو زيادة الإرتفاع. أدت زيادة الإرتفاع لزيادة جوهرية في السعة التخزينية وكذلك إنخفاض كبير في مساحة الأرضية المطلوبة للمشروع وما يترتب على ذلك من مميزات سبق التعرض لها.

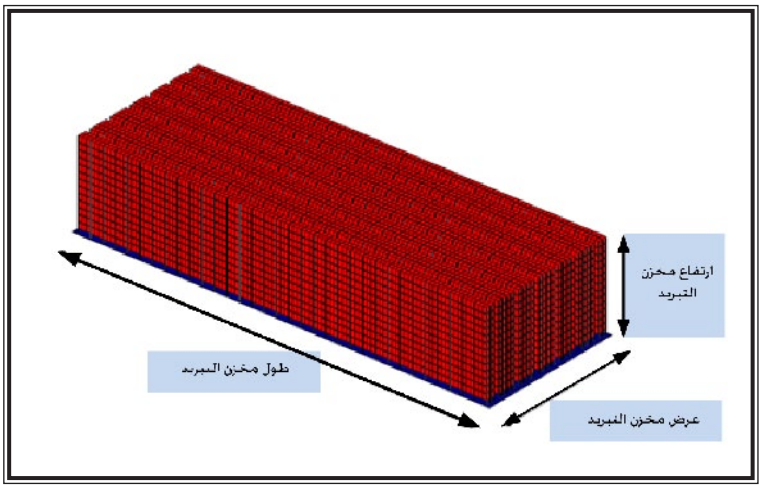
نظم مخازن التبريد عالية الإرتفاع وآلية العمل تتميز بشقين رئيسيين هما الإرتفاعات العالية ونظم الأرفف الأوتوماتيكية. نظام الأرفف تلك تتكون من رافعة تعمل من خلال حاسب مركزي وتتحرك على قضبان مثبتة في مجاري منشأة بأرضية المخزن. يتباين تصميم تلك الروافع وفقا للإرتفاعات المختلفة وكما هو موضح بشكل (8.10). توجد حساسات بتلك الرافعة من خلالها يمكن التعرف علي أى بالتة من خلال الباركود المثبت عليها.

عادة ما تكون أرضية المشروع على هيئة مستطيل (شكل 9.10) بممرات بينية وبعرض ملائم لعرض تلك الرافعات (Crane) والتي تتباين من شركة لأخرى. يتوقف عدد تلك الممرات وعدد الرافعات الخادمة لها على السعة الكلية للمشروع ومدى السرعة المطلوبة في عملية التحميل والتنزيل.

جدوى تلك المشاريع عالية بالنظر لتكاليفها الإستثمارية العالية وجاري تنفيذ بعضا منها بدول الوطن العربي بالإضافة للقائمة منها فعلا وخاصة في دول الخليج. تلك المشاريع تلائم بصورة كبيرة عمليات التخزين بعيد المدى للحاصلات البستانية مثل التفاح، الكمثرى، والتمور بصورة خاصة. التمور تشكل تطبيقا ملائما حيث أن فترات التخزين لها كبيرة وتصل لأكثر من عشرة شهور مع محدودية المعروض خاصة في دول مثل المملكة العربية السعودية. السعة التبريدية المطلوبة لتلك المشاريع تعتبر واحدة من أهم مميزاتها حيث أنه لمشروع فعلي منفذ تبلغ سعته التخزينية 27000 بالتة بلغت السعة التبريدية المطلوبة 500 ك.وات والتي يمكن الوفاء بها من خلال ضاغط لولبي واحد يعمل بالنشادر كوسيط تبريد أولي. يستتبع ذلك قلة عمليات الصيانة والأعطال وقطع الغيار المطلوبة مما يشكل خفض كبير في مصاريف التشغيل. في حال توفير الخدمات المساندة والسابق تفصيلها وتشييد المشروع في موقع متميز تتوفر فيه كافة المبررات السابق التعرض لها، فإن عدد من تلك المشاريع في أحد دول الوطن العربي ستكون أساسا هاما وحلقة كبيرة من حلقات سلسلة التبريد المفقودة.




**شكل (8.10)**: الإرتفاعات المختلفة لروافع نظم التداول الأوتوماتيكية.




**شكل (9.10)**: نموذج لشكل الأرضية المستطيلية المطلوبة لمشاريع المخازن عالية الإرتفاع.

## الخلاصة

النمط الحديث لمخازن التبريد للحاصلات البستانية يعتمد على تبني التقنيات الحديثة الصديقة للبيئة والموفره للطاقة حيث توجد تقنيتان بتطبيقات واعدة في هذا المجال وهما التبريد بوسيط التبريد الطبيعي وأحد مكونات الهواء الجوي وهو غاز ثاني أكسيد الكربون. توفر تلك التقنية العديد من المميزات ومن أهمها السلامة والآمان العالي في عملية التشغيل نظرا للخواص الطبيعية لثاني أكسيد الكربون مثل عدم قابليته للإشتعال أو الإنفجار. أيضا يمكن لتلك التقنية تغطية العديد من التطبيقات الخاصة بتداول الخضروات والفاكهة مثل التخزين المبرد بعيد أو قصير المدى بالإضافة لعملية التبريد السريع. التقنية الثانية هي معلق الماء والثلج أو الثلج السائل والذي يمثل بعداً أخر في التطبيقات الصديقة للبيئة والموفره للطاقة نظرا للسعة التبريدية العالية التي يحتويها لإعتماد ذلك على الطاقة الكامنه التي تنطلق من بلورات الثلج متناهية الصغر. مخازن التبريد عالية الإرتفاع آلية العمل تضيف أبعادا إيجابية لإقتصاديات التخزين المبرد خاصة لمنتجات مثل التمور. من الأهمية بمكان مراعاة تلك التقنيات في مشاريع التبريد في الوطن العربي بغرض زيادة المساحات المبردة الحالية وبدون إحداث أثر سيئ على البيئة المحيطه.

## الفصل الحادي عشر

# نظم التداول داخل مخازن التبريد


### الملخص

لنظم التداول بمخازن التبريد أهميه كبرى لكون التصميم والتشغيل الأمثل لها يضمن زيادة إستخدام المساحة الأرضيه والحجم الداخلي بما يؤدي لزيادة الكفاءة والعائد من إستثمارات هذا القطاع. يتم التداول في مخازن تبريد الحاصلات البستانية بوسائل متعددة منها التخزين السائب أو الصب، الصناديق والأجوله البلاستيكيه، أو الطبليات المعدنية التي تحتوي علي العبوات الكرتونية الخاصه بالمنتج. الصناديق الخشبية الكبيرة تستخدم لتداول البطاطس، البصل، الجزر ،التفاح وتسع لحوالي طن من المنتج. نظم التداول الحديثة هي الأرفف والتي تشتمل على خمسة أنواع ومنها الثابتة ذات عمق لبالتة واحدة أو بالتتين، المتحركة، وكاملة الأوتوماتيكية. يستعرض هذا الفصل وصف لكل نظام مع عرض مميزات وعيوب كل منها.


### مقدمة

يوجد العديد من أنظمة التخزين داخل غرف تبريد الحاصلات البستانية حيث تتباين التطبيقات وفقا للكثير من العوامل التي يجب تحديدها بعناية عند الإختيار ومنها:

- نوعية المنتجات.
- الأبعاد الداخلية والخارجية.
- السعة الخاصة بالمخازن.
- وزن وحدة المنتج (العبوة أو الكرتونة) المزمع تداوله.
- طريقة التعبئة.
- إرتفاعات الرص المسموحة.
- نوعية المصدر الذي سيتم منه تفريغ وتحميل المنتج منه وإليه.
- سرعة التحميل والتنزيل المطلوبة.

توجد العديد من العوامل الأخرى التي لا ترتبط بالأبعاد مثل ما إذا كانت طبيعة المنتج المُخزن تتطلب سرعة الوصول إليه في أى وقت وهذا هو الحال بالنسبة لتخزين أصناف معينة من المنتجات الزراعية وإمتداد الحاجة لتصنيعها على مدار العام. أيضا تؤثر عمليات الإدارة والتحكم بالجودة المطلوبة على نظم التخزين. يعتبر تحقيق المتطلبات الفنية لعملية التخزين مثل درجة الحرارة، نسبة الرطوبة، معدلات التهوية، وكفاءة الوصول للمنتج من أهم المحددات الخاصة بإختيار نظام التداول. توجد عدة إختيارات فنية تشتمل على ما يلي:

### 1- التخزين السائب أو الصب

التخزين السائب أو الصب (Bulk) يكون أساساً للبطاطس وفيه يتم ملئ فراغ المستودع لإرتفاعات محددة بحيث لا يتم تعريض الثمار المخزنة في الطبقات السفلية لأى إجهادات ميكانيكية تؤدي لحدوث كدمات وجروح تُعّجل من عملية التنفس وتُشكل مناطق لمهاجمة الكائنات الحية الدقيقة. أقصى إرتفاع يمكن الوصول إليه هو 4.5 إلى 5 أمتار ويتطلب هذا النوع من التخزين طرق تهوية مكلفة نظرا للأرضيات والقوائم الخرسانية المطلوبة وكذلك دعامات خاصة بالجدران نظرا لوقوع أحمال عالية عليها بفعل وزن الدرنات. يُعد هذا النوع من التخزين ملائم لمصنعي البطاطس نظرا لقلة عمليات المناولة التي يتطلبها مما يقلل من تكلفة التخزين النهائية. من أهم عيوب هذا النظام هو محدودية التحكم في الجودة وكذلك عدم إمكانية تخزين

أصناف مختلفة. أيضا نظام التهوية الأرضي المتبع يحول دون استخدام مخازن التبريد لتخزين منتجات أخرى مثل الفاكهة. لا يستخدم نظام التخزين الصب أو السائب مع تقاوي البطاطس. هذا النظام يعد من أشهر النظم في الولايات المتحدة وكندا نظرا لضخامة العمليات الإنتاجية والتصنيعية وأيضا في بعض الدول العربية وخاصة لمخازن التبريد بمصانع رقائق البطاطس.

## 2- التخزين في طبليات معدنية

التخزين باستخدام الطبليات المعدنية يتم لمنتجات عديدة وأشهرها البطاطس والبصل ،كما هو موضح بشكل (1.11). تبلغ متوسط حمولة البالتة بين 700 إلى 900 كيلوجرام وفقا لكثافة الدرنات. يجب في تلك الطريقة ترك مسافات بينية على المحور العمودي للطبليات وبمواجه مجاري دفع الهواء. يمكن بتلك الطريقة التخزين لإرتفاع خمسة بالتات حيث تترك مسافة حوالي 0.8 متر لتدوير هواء التبريد أعلى سطح البالتات. يعيب تلك الطريقة إنخفاض كفاءة إنتقال الحرارة نظرا للمقاومة التي تشكلها الأكياس البلاستيكية والتي تُعيق عملية التخلص من الحرارة الزائدة بفعل التنفس ومن ثم تؤدي لحدوث تكثف وتعفنات غير مرغوبة. أيضا تعد عملية التهوية غير منتظمة في تلك الطريقة نظرا لعدم وجود مسارات محكمة للهواء المدفوع مما يؤدي لسلوكه لأقل الطرق مقاومة ومن ثم لا يُجبر بالمرور على درنات البطاطس لتبريدها ولسحب حرارة التنفس منها. تتطلب تلك الطريقة إنشاء حوائط كاذبة لدفع الهواء جانبيا ومرواح بتجهيزات خاصة منفصلة تشكل تكلفة زائدة وأيضا تقلل من المساحة المستخدمة من أرضية مخزن التبريد.

**شكل (1.11):** التخزين في أكياس وطبليات معدنية.

## 3- التخزين في الصناديق الخشبية الكبيره Bin

التخزين في الصناديق الخشبية الكبيرة (Bin) بأبعاد 1.83م (عرض)، 1.22م (عمق)، 1م (إرتفاع) شائع الإستخدام للعديد من المنتجات مثل البطاطس، البصل، الجزر، والتفاح. يمكن أن تصنع تلك الصناديق من الخشب أو البلاستيك. تحتوي الصناديق على فتحات سفلية خاصة بأسلحة الرافعة الشوكية وعلى فتحات تهوية جانبية ملائمة. يمكن بهذا النظام تخزين العديد من الأصناف داخل الغرفة الواحدة. يمكن أيضا متابعة جودة الثمار المخزنة بصورة دورية من خلال أخذ العينات. نظام التهوية المطبقة هي نظم التهوية الجانبية وهي منخفضة التكلفة بالمقارنة مع التهوية الأرضية المطلوبة في نظام الصب. هذا النظام ومن حيث سهولة المتابعة للجودة وكذلك سهولة التداول يُمكن من المحافظة على الأجراءات الصحية ونظافة المخازن.

تلعب العوامل التصميمة دورا هاما في الكفاءة، الإقتصاديات، والعمر الإفتراضي لتلك الصناديق حيث يجب أولا إختيار نوعية محددة من الأخشاب ذات خواص ميكانيكية جيدة وخفيفة الوزن. يجب أيضا أن يراعى مقاسات الخشب الخام بحيث تتوافق مع المتطلبات التصميمية وأن يكون من نوع إقتصادي التكلفة حيث كلما زاد مقاس لوح الخشب كلما ارتفع ثمنه وربما يهدر منه الكثير عند التصنيع. المسافات البينية في جوانب الصندوق يجب ألا تزيد عن 2 سم وكذلك في القاع للحفاظ على معدلات التهوية المطلوبة. عادة يتم دهان الصناديق بمواد عضوية مانعة لإمتصاص الرطوبة. يجب أن تكون قواعد الصندوق قوية بحيث تحتمل عملية الرفع والتنزيل من خلال أسلحة الروافع الشوكية. يجب أيضا عمل دعامات داخلية بكل جانب من جوانب الصندوق لزيادة قوة التحمل. التصميم الأمثل لتلك الصناديق يجب أن يراعي العوامل الأتية:

1- أبعاد الصندوق تكون في حدود 183 في 133 في 93 سم.
2- وزن الصندوق فارغا في حدود 100 كجم.
3- أقصى سعة للصندوق في حدود 1200 كجم.

4- فتحات التهوية الجانبية في حدود 20 مم.

5- الحمولة الفوقية للصندوق السفلي أربعة صناديق.

6- الخشب المستخدم يكون معالج بمادة عضوية مانعة لإمتصاص الرطوبة وضد الحشرات والتعفن.

7- يتجاوز الصندوق اختبارات إجهاد وشد وضغط وإختبارات ميكانيكية محددة مُسبقا.

8- سمك الخام المصنع من الصندوق في حدود 25 مم.

9- كافة حواف الصندوق الداخلية والخارجية يتم تدويرها أى غير حادة.

10- جودة التشطيب للصندوق وإستواء سطحه السفلي والعلوي تماما.

11- متانة وديمومة طريقة ربط القاعدة بالجوانب.

يوضح شكل (2.11) تفاصيل صناديق خشبية تم تصنيعها بمصر لتداول البطاطس قبل الدهان بالمادة العضوية المانعة لإمتصاص الماء حيث كانت التكلفة أقل من تلك المستوردة بحوالي 40 % والموضحة بشكل (3.11) حيث تم في عملية التصميم مراعاه كافة الإعتبارات السابق الإشارة إليها. بناء عليه يجب تشجيع استخدام تلك النوعية من التداول لما توفره من مميزات عديدة. في العديد من مشاريع تصنيع البطاطس في الدول العربية تشترط المصانع علي الموردين إستخدام تلك الصناديق ويتم مراعاة أبعادها عند تصميم عربات النقل المبردة لتتوافق معها وبما لا يتعارض مع قوانين المرور المحلية في تلك الأقطار.

**شكل (2.11)**: صناديق خشبية للبطاطس والبصل.

## 4- نظام الأرفف الثابتة

يعتبر نظام الأرفف بصفة عامة هو النظام الأكثر إنتشارا لطرق التداول داخل مستودعات تبريد الخضروات والفاكهة. يتم إنشاء تلك الأرفف وفقا للسعات التخزينية المطلوبة ووفقا للأبعاد الداخلية للمستودع وتكون بعمق طبلية أو طبليتين. من أهم مميزات هذا النظام هو إمكانية الوصول مباشرة لأى طبلية غير أن الطرقات البينية بين صفوف الأرفف وطرق الخدمة الأخرى تهدر أكثر من 70 % من الحجم الداخلي للمستودع.

## 5- الأرفف ذات الممر الداخلي من جهة واحدة
## Drive-in racking system

تلائم هذه الطريقة المخازن عالية الكثافة حيث تستخدم الممرات الضيقة بين الرفوف لمرور الرافعات الشوكية للوصول لنهاية أو عمق الرف من الجهة الأخرى والتي عادة ما تكون ملاصقة للحائط ليتم بدئ عملية التخزين بإرتفاعات مختلفة وبعمق طبلتين وحتي الوصول لبداية الرفوف من الجهة المقابلة كما يتضح من شكل (7.11 و6.11). كفاءة استخدام الأرضية تكون عالية نظرا لقلة الممرات المهدرة. عيوب هذه الطريقة هو عدم إمكانية الوصول لأي طبلية إلا بعد تفريغ ما قبلها من طبليات. تستخدم هذه الطريقة بكثرة خاصة في تخزين التمور بغرض التصنيع وكذلك لمنتجاتها النهائية. من عيوب هذا النظام هو عدم إمكانية تطبيق مبدئ «المخزن أولا يخرج أولا First in first out". أيضا

تصعب عملية الفحص الدوري للمنتجات المخزنة. يجب إستخدام الحذر الشديد لتفادي سقوط أى طبلية بفعل عدم وضعها بدقة على حواف الرف الداخلي. من العيوب الجوهرية لهذا النظام محدودية الإرتفاعات التي يمكن التصميم عليها.

**شكل (3.11)**: الصناديق الخشبية المستوردة.

## 6- الأرفف ذات الممر الداخلي/ الممرات الداخليه من الجهتين Drive-through racking system

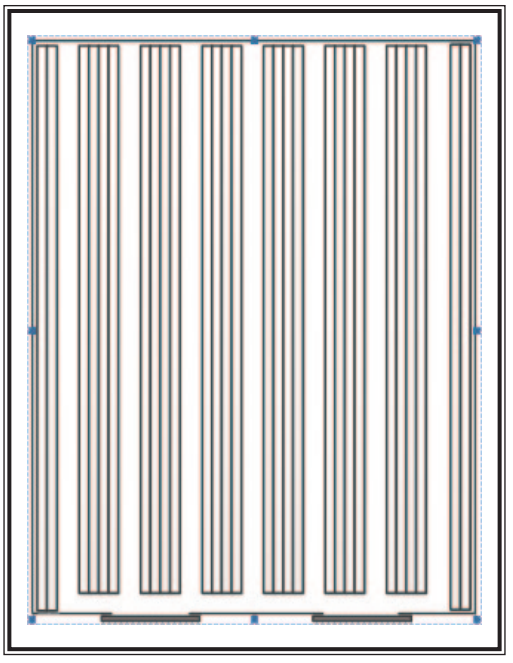
يشابه هذا النظام ما سبق غير أن المرور يكون من الإتجاهين وكما هو موضح بشكل (8.11). يتم إختيار هذا النظام للمنتجات كثيرة الحركة وذات الإنتاج الموسمي. أيضا يناسب الأنواع المتماثلة من المنتجات حيث يطبق مبدأ «المخزن أولا- يخرج أولا». أيضا تلائم الظروف التي تكون فيها المساحات صغيرة ومرتفعة الثمن حيث يتم من خلال هذا النظام إستغلال مساحة الأرضية والحجم الداخلي بكفاءة عالية. من عيوب هذا النظام هو ما سبق ذكره من حيث صعوبة عملية الفحص الدوري ووجوب إستخدام الحذر الشديد أثناء التداول بالإضافة لمحدودية الإرتفاعات التي يمكن تصميم تلك النظم عليها.

## 7- الأرفف المتدفقة Flow racking system

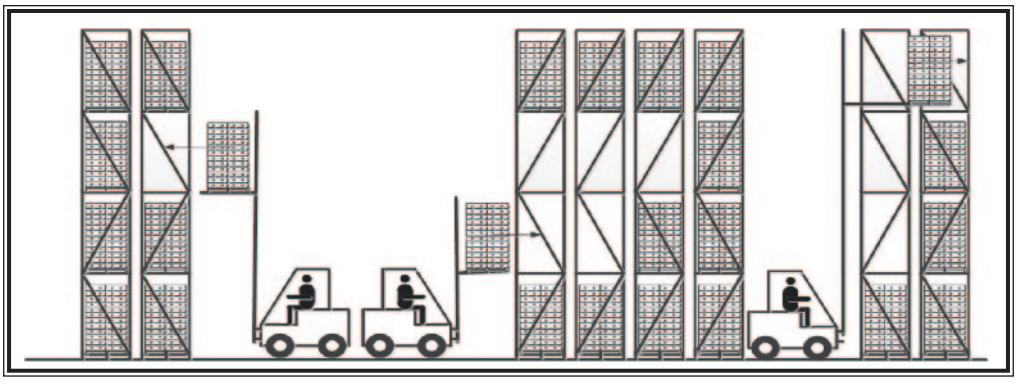
يعتمد هذا النظام على سريان طبليات المنتج بالجاذبية حيث يكون هناك ميل في الأرفف وتوجد إسطوانات منزلقة برُمان بلي بالأرضية تسهل من تدفق حركة الطبلية في الإتجاة الأخر بمساعدة الجاذبية حيث يتم إخراجها من الطرف الأخر وكما هو مبين بشكل (10.11 و9.11). الطبلية التي تم إخراجها تحل محلها طبلية المنتج التي تليها في حين يكون هناك مكانا شاغرا في بدء الصف عند فتحة التحميل. يتكون هذا النظام من الهيكل المعدني الثابت والقواعد المتدحرجة مع وجود نظام لفرملة أو وقف الحركة في حال تطلب الأمر ذلك.

**شكل (4.11)**. نظام الأرفف الثابتة بعمق طبلتين.

من مميزات هذا النظام إستغلال مساحة الإرضية وكذلك الحجم الداخلي بصورة ممتازة بالإضافة لتطبيق مبدأ المخزن أولا يخرج أولا (First in first out). من مميزاته أيضا إمكانية فصل أصناف مختلفة عن بعضها البعض عن طريق تخصيص صفوف محددة لكل صنف أو نوع. يعمل هذا النظام على تقليل عدد الروافع الشوكية المطلوبة لتداول المنتج حيث تستخدم فقط عند نقاط التحميل والتنزيل في حين تكون الحركة فيما بين تلك النقطتين من خلال الجاذبية مما يوفر الكثير من الطاقة. يجب أن تكون الطبلية ثابتة ومغلفة بصورة مناسبة لمنع حركة العبوات أو صناديق المنتج بها. يعيب هذا النظام ما سبق ذكره عن عدم إمكانية الوصول لأي طبلية بدون تفريغ ما قبلها. تتوقف الأبعاد الخارجية والداخلية وعدد أماكن الطبليات بهذا النظام علي الحجم والمساحة الخاصة بالمستودعات. من عيوب هذا النظام هو صعوبة عملية الفحص الدوري بالإضافة لمحدودية الإرتفاعات التي يمكن تصميم تلك النظم عليها.

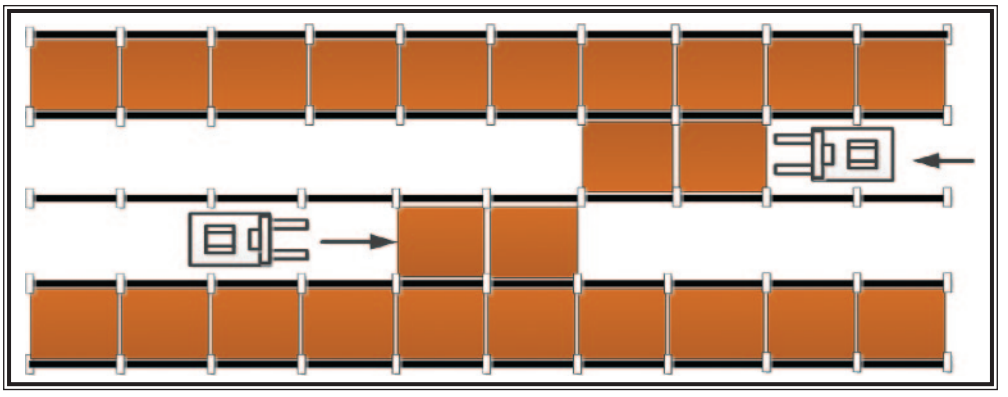


**شكل (5.11)**: نظام الأرفف الثابتة بعمق طبلتين.



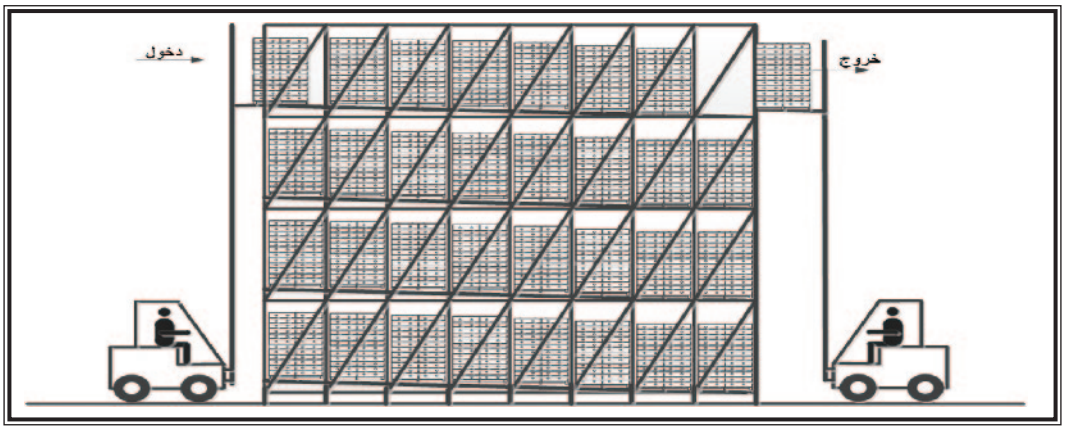
**شكل (6.11)**: نظام الأرفف ذات الممر الداخلي من جهه واحدة Drive-in racking system.

**شكل (7.11)**: نظام الأرفف ذات الممر الداخلي من جهه واحدة Drive-in racking system.



**شكل (8.11)**: الأرفف ذات الممرات الداخليه من الجهتين
.Drive-through racking system

**شكل (9.11)**: فكرة نظام الأرفف المتدفقة Flow racking system.




**شكل (10.11)**: الأرفف المتدفقة Flow racking system.

## 8- الأرفف المتحركة Mobile racking system

نظام الأرفف المتحركة كما هو الموضح فكرته بشكل (11.11) يوجد في الكثير من المشاريع بدول الخليج العربي كما هو موضح بشكل (12.11). في هذا النظام يتم تركيب صفوف الأرفف على قضبان معدنية ويتم تحريكها من خلال مواتير كهربائية على تلك القضبان (13.11). توجد عدة صفوف من الأرفف بعمق طبلية أو طبلتين يتم ضمها لبعضها البعض ومن ثم يتم إخلاء ممر واحد فقط يتم إنشائه وفقا لموقع الطبليات المراد تحميلها أو تنزيلها حيث يتم هذا من خلال تحريك صفوف الأرفف يمنة أو يسرة ومن ثم

يتم تفريغ ممر ما بين صفي الطبليات المطلوب الوصول لها لتقوم الرافعة الشوكية بتحميل أو تنزيل الطبلية من أى موقع تقع فيها بطول الصف.

مميزات نظام الأرفف المتحركة يمكن إجمالها في ما يلي:

1. إمكانية الإختيار أو الإنتقاء لأى بالتة تبلغ 100 %.
2. نسبة الإشغال العالية للأرضية والتي تتجاوز 95 %.
3. عملية التحكم الإليكترونية تعني إمكانية فتح الممرات في خلال 40 ثانية.
4. سرعة الحركة تبلغ 4 متر/دقيقة وهي ملائمة لتفادي سقوط أى بالتة.
5. في حال وجود أى عوائق تعمل الخلايا الضوئية المثبتة بصفوف الأرفف على وقف الحركة فورا.
6. الطاقة الكلية المطلوبة لمخزن حجمه الداخلي 1500م$^3$ تبلغ 6.6 ك.وات.

**شكل (11.11)**: فكرة الأرفف المتحركة.

**شكل (12.11)**. نظام الأرفف المتحركة بأحد مخازن الفاكهة بالرياض.

**شكل (13.11)**: القضبان التي تتحرك عليها مصفوفات الأرفف.

## 9- الأرفف أوتوماتيكية الحركة بالكامل

## Fully automated racking system

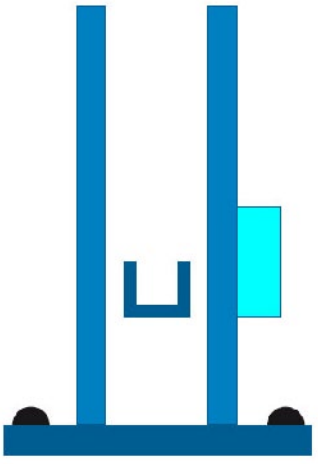
في هذا النظام توجد رافعة تعمل من خلال حاسب مركزي تسير على شبكة قضبان مثبتة بأرضية المستودع بحيث تتحرك في المحور الرأسي والأفقي في ذات الوقت وتقوم بحمل بالتة أو طبلية المنتج بعد مرورها على جهاز ماسح للتأكد من مطابقة أبعادها ووزنها مع تلك القياسية المفترض أن يعمل النظام عليها وذلك من خلال الباركود أو بطاقة التعريف لكل بالتة (شكل 14.11). يتم وضع البالتات في مكان محدد حيث تقوم الرافعة بالتعرف على البالتة من خلال قراءة كافة البيانات المدونة على الباركود الخاص بها. وفقا لتصميم المستودع يمكن أن يكون هناك رافعتين أو أكثر حسب السرعة المطلوبة لعملية التحميل والتنزيل. يوضح شكل (15.11) مخطط لأحد أنواع تلك الروافع.

يمكن إجمال مميزات هذا النظام في النقاط التالية:

1. توفير العمالة حيث لا يتطلب وجود أى عامل في حيز المستودع.
2. توفير الإضاءة حيث لا تتطلب الفراغات الداخلية للمستودع أى إضاءة.
3. ضمان مستوى عالي من الإشتراطات الصحية داخل المستودع.
4. الآمان العالي في التشغيل نظرا لخلو المستودع من العمالة.
5. يتوافق هذا النمط من الأرفف مع المستودعات ذات الإرتفاعات العالية.
6. قلة الإنشاءات المدنية المطلوبة.
7. الإستغناء عن الهياكل المعدنية حيث الأرفف ذاتها تعمل كهيكل حامل لألواح العزل.

8. قلة الأحمال التبريدية المطلوبة بفعل صغر حجم الأبواب بالنسبة للحجم الداخلي.
9. يزيد من مُعامل استخدام أرضية مستودعات التبريد بصورة ممتازة.
10. يحد من فقد البرودة نتيجة محدودية فتح الأبواب.
11. ينتشر هذا النوع من الأرفف لمنتجات مثل الكمثرى والتفاح وجاري تطبيق بعض من تلك المشاريع بدول الخليج العربي لتخزين التمور. يعيب هذا النظام عدم ملائمته للمشاريع الصغيرة.

**شكل (14.11)**: نظام الأرفف الأوتوماتيكية بشركة تبريد زراعي بالرياض.



**شكل(15.11)**: مخطط للرافعة المستخدمة في نظام الأرفف الأوتوماتيكية.

## مقارنة بين بعض نظم التداول

لأحد مشاريع تخزين التمور تم تقدير المساحة المطلوبة لكل من نظام الأرفف الثابتة بعمق طبلية واحدة، عمق طبلتين، الأرفف ذات الممر الداخلي من جهة واحدة Drive-in racking system، ونظام الأرفف المتحركة حيث يوضح جدول (1.11) عناصر المقارنة المختلفة لكل حالة في حين يوضح جدول (2.11) عملية التحليل المالي المقابلة.

**جدول (1.11)**: المقارنة بين الإختيارات المختلفة لنظم الأرفف.

| | أرفف ثابتة بعمق طبلية واحدة | أرفف ثابتة بعمق طبلتين | الآرفف ذات الممر الداخلي من جهة واحدة | الأرفف المتحركة |
|---|---|---|---|---|
| مساحة مستودع التبريد (م$^2$) | 1750 | 1764 | 1636 | 1845 |
| المساحة الفعلية لطبليات المنتج (م$^2$) | 591 (33.7) | 722 (% 44) | 912 (% 55.7) | 1170 (% 63.8) |
| نسبة استخدام الإرضية | % 95 | % 90 | % 80 | % 95 |
| عدد الطبليات الكلي | 2592 | 3384 | 3996 | 5160 |
| العدد الفعلي للطبليات الممكن تخزينها | 2462 | 3046 | 3197 | 4902 |
| طبلية/م$^2$ | 1.41 | 1.74 | 1.95 | 2.66 |

**جدول (2.11):** التحليل المالي لجدوى الإختيارات السابقة.

| | أرفف ثابتة بعمق طبلية واحدة | أرفف ثابتة بعمق طبلتين | الآرفف ذات الممر الداخلي من جهة واحدة | الأرفف المتحركة |
|---|---|---|---|---|
| مساحة مستودع التبريد (م$^2$) | 1750 | 1764 | 1636 | 1845 |
| المساحة الكلية المطلوبة علي إفتراض أنها ضعف المساحة الفعلية للمستودعات (م$^2$) | 3500 | 3492 | 3272 | 3690 |
| أ: تكلفة الأرض: 335$/م$^2$ | 1,172,500 | 1,169,820 | 1,096,120 | 1,236,150 |
| ب: تكلفة المبنى: 1364$/م$^2$ | 2,387,000 | 2,381,544 | 2,231,504 | 2,516,580 |
| عدد أماكن البالتات | 2592 | 3384 | 3996 | 5160 |
| متوسط التكلفة لكل بالتة $ | 60 | 80 | 170 | 220 |
| ج: تكلفة نظام الأرفف $ | 155,520 | 270,720 | 679,320 | 1,135,200 |
| التكلفة الكلية = أ + ب+ج $ | 3,715,020 | 3,822,084 | 4,006,944 | 4,887,930 |
| التكلفة الإستثمارية $/م$^2$ | 2 123 | 2 189 | 2 449 | 2 649 |
| التكلفة الإستثمارية $/بالتة | 1,433 | 1,129 | 1,003 | 947 |

$ : الدولار الأمريكي.

يتضح من جدول (1.11) أن نظام الأرفف المتحركة أتاح تخزين 2.66 طبلية لكل م$^2$ وهو الأعلى بين الإختيارات الأربع كما أنه ووفقا لجدول (2.11) كان الأرخص ثمنا حيث بلغت التكلفة الرأسمالية لكل بالتة 947 دولار في حين كانت التكلفة الأعلى هي لنظام الأرفف الثابتة بعمق بالته واحدة والتي بلغت 1433 دولار وذلك نظرا لهدر مساحة كبيرة من أرضية المشروع. في تحليل التكاليف المبسط كما في جدول (2.11) يجب مراعاة فوارق سعر الإراضي من بلد لأخر وكذلك نظام العزل عند تطبيق تلك المقارنات. يجب الإشارة هنا إلى أن تكلفة المبنى في جدول (2.11) لا تضمن تكلفة نظام التبريد. أيضا يلاحظ إمكانية خفض مساحة الأرض الكلية للمشروع ليتوقف هذا على نوعية الخدمات المطلوبة حيث يمكن للتكلفة أن تنخفض مع عدم إهمال فرضية التوسع المستقبلي نتيجة زيادة الطلب على خدمات المشروع أو بفعل الجدوى الإقتصادية الجيدة مما يدفع المستثمر للتوسع لاحقا. يلاحظ أيضا مراعاة إختلاف سعر نظم الأرفف من وقت لأخر لإختلاف أسعار الصلب والمستلزمات الأخرى ووفقا للشركة الموردة ووفقا للبلد المقام فيها المشروع. تم إستثناء نظام الأرفف الأوتوماتيكي في هذا المشروع نظرا لصغر حجمه حيث يعتبر غير مناسب لهذا التطبيق كما سبق الإشارة إليه.

## الخلاصة

توجد العديد من الإختيارات لنظم تداول الحاصلات البستانية بمستودعات التبريد حيث يتوقف إختيار النظام الأمثل على العديد من العوامل والتي يجب دراستها بعناية وتحديد مدى أثرها على النظام الذي سيتم إختياره. من أهم العوامل أيضا لإختيار النظام الأمثل هو نوعية المنتجات ومساحة المشروع. من أهم مميزات نظم الأرفف زيادة معامل استخدام الأرضية وسهولة عملية إنتقاء بالتة محددة فورا. يجب عند المفاضلة ما بين النظم المختلفة مراعاة كافة عناصر التكلفة بالمشروع حيث يجب أن يتخذ القرار في ضوء نتائج التحليل المالي والذي يوضح تكلفة إنشاء البالته الواحدة بالمشروع.

## الفصل الثاني عشر

# الصيانة والتشغيل


### الملخص

صيانة مشاريع التخزين المبرد وتشغيلها بصورة فاعلة لتحقيق الأهداف التصميمية لها من أهم المحاور الواجب بذل جهد كافي ومصادر سخية لها بغرض تقليل الأعطال والحفاظ على العمر التشغيلي للمعدات وكذلك توفير الظروف المثلى للحفاظ على جودة المنتجات المخزنة وإطالة عمرها التسويقي. في هذا الفصل سيتم مناقشة المشاكل الحالية والمشتركة في الوطن العربي والخاصة بصيانة وتشغيل مشاريع التبريد وسبل معالجتها وفرص توفير الطاقة وزيادة كفاءة وجدوى تلك المشاريع.


### مقدمة

أعمال الصيانة متنوعة ومختلفة وفقا لنوع المشروع ومكوناته وطبيعة العناصر الوظيفية التي يقوم بها. أيضا وفي حال وجود أعطال فإن تحديد ما ينبغي القيام به ليست سهلة وربما يعتمد على قطع غيار غير متاحة. من المشاكل الأخرى تحديد ترتيب الأولويات حيث أن القائمين على التشغيل وفي كثير من الأحيان ليس لديهم القدرة على ذلك. للطقس دور كبير في ظهور الأعطال في نظم التبريد في الوطن العربي بفعل إرتفاع درجات الحرارة صيفا لتتجاوز الظروف التصميمة لنظام التبريد مما ينتج عنه الكثير من الأعطال. يجب الإشارة في هذا الإطار لندرة الكوادر الفنية المتخصصة في عمليات الصيانة لنظم التبريد الصناعية والتجارية.

### تعريف الصيانة

الصيانة هي جملة الأعمال التي تُؤمِن كفاءة تشغيلية عالية مع تحقيق السلامة للعاملين وبأقل التكاليف سواء الرأسمالية أو التشغيلية. بناء على هذا التعريف يمكن تحديد أهداف الصيانة في مجال التخزين المبرد كما يلي:-

1. المحافظة على نظم التبريد ضمن نطاق المواصفات التصميمية والتشغيلية التي شيد عليها النظام بهدف تأمين أعلى قدر من الكفاءة، على أن تقوم أنشطة الصيانة المختلفة بإعادة تلك النظم إلى المواصفات التصميمية كلما أنحرفت عنها.
2. تقليل للأعطال الفجائية للحد الأدنى وكذلك تقليل الفاقد في الإنتاج الناتج عن تلك الأعطال.
3. تحقيق أعلى درجات الكفاءة، السلامة، والآمان لكل من العاملين والمنتج معا وذلك بتطبيق كافة الإجراءات اللازمة والتي تحد من الحوادث والأعطال.

### أ- أنواع الصيانة

#### 1- الصيانة المخططة لها

وهي كافة إجراءات الصيانة المخطط لها وفقا لتوصيات المُصنع مثل عمليات تغيير الزيوت، إختبارات الإهتزازات، تغيير الفلاتر وغيرها.

#### 1-1 الصيانة الدورية الوقائية

وهي حسب ما توصي به الشركة الموردة والتي قامت بتركيب نظام التبريد حيث عادة ما تتعهد بالقيام بتلك الأعمال في العام الأول من المشروع كفترة ضمان. أيضا من المعتاد أن تقوم الشركة بإعداد جدول لكافة أعمال الصيانة الدورية وتوقيتاتها ويتم تسليمها كأحد وثائق المشروع.

**2-1 صيانة دورية تتطلب توقيف النظام**

تتطلب بعض أعمال الصيانة توقيف النظام مثل عمليات تغيير الصمامات وفلاترها وعمليات تغيير الزيوت. يمكن أثناء إجراء تلك الصيانة عمل أى إصلاحات طارئة تم ملاحظتها سابقا. مثال على ذلك إصلاح العزل في أماكن محددة والتخلص من الماء والهواء الملوث لدائرة التبريد.

**2- الصيانة غير المخطط لها**

وهي كافة الإجراءات التي تتخذ بدون تخطيط مسبق لها نتيجة حدوث أعطال فجائية.

**شكل (1.12)**: محطة تبريد تجاوز عمرها 30 عام ويندر توفير قطع الغيار لها.

## ب- مشاكل قطاع التخزين المبرد في الوطن العربي

يمكن حصر المشاكل التي تواجه قطاع التخزين المبرد للحاصلات البستانية ونظم التبريد الخاصة به في الوطن العربي في النقاط التالية:

**أولا: مشاكل الصيانة**

**1- قدم مكونات نظم التبريد**

السبب الأكثر وضوحا لمشاكل نظم التبريد في الوطن العربي هو أن غالبيتها قد وصلت إلى نهاية عمرها الإفتراضي وأن الأجزاء المتحركة بها قد بليت (أشكال 1.12، 2.12، 3.12). في حال الصيانة الجيدة يمكن للضواغط أن تعمل أكثر من مائة ألف ساعة والعكس صحيح ففي حال عدم تطبيق نظم صيانة دقيقة ستنخفض الكفاءة إلى حد كبير قبل وقت ليس طويل وفي النهاية سيكون الأداء بعيد عن الظروف التصميمة لنظام التبريد. عملية التزييت والتشحيم من العوامل الرئيسية في التقليل من تآكل الأجزاء المتحركة في نظم التبريد. لتغيير الزيوت بطريقة صحيحة يجب تقييم خواص الزيت بصورة علمية من حيث لزوجته، لونه، رائحته، وتحديد مكوناته. لاتوجد مختبرات متخصصة في أي من الدول العربية لإنجاز هذه المهمة ومن ثم تتم عملية تغيير الزيوت بجهود شخصية ربما كانت مكلفة وغير موائمة لنظم التبريد في غالبية الأحيان. حديثا توجد أجهزة محمولة معقولة الثمن تقوم بتحليل عينات الزيوت في الموقع ومن ثم يتخذ ما يلزم بناء على نتائج تحليل تلك العينات. يمكن وفي حال تكوين تعاونيات لمخازن التبريد أن تكون تلك الخدمة من الخدمات الرئيسية المقدمة لأعضاء التعاونية. يجب ملاحظة أن وجود الشوائب الصلبة في الزيت تُسرع من عملية التآكل. أيضا وفي حال ما كانت اللزوجة منخفضة للغاية فإنها تسبب تآكل كراسي المحرك الهيدروديناميكية وتؤدي لزيادة كمية الحطام المعدني الأبيض في الزيت والناتج من تآكل كراسي المحرك ذاتها. لعلاج ما سبق يجب عمل فحص دوري لعينات الزيت وفقا لما سبق. يجب أيضا تدريب القائمين على عملية التشغيل والصيانة بصورة ملائمة بهدف توفير تكاليف الطاقة والحد من إحتمالات خطر توقف وإنهيار النظام.

**شكل (2.12)**: قِدم المبخرات بأحد مشاريع التبريد للخضروات والفاكهة.

**شكل (3.12)**: غياب الصيانة وقدم وحدات التكثيف.

**2- تآكل المكونات**

في حال التطبيقات ذات درجة الحرارة المنخفضة أو التي تغطي مدى واسع من درجات الحرارة والتي تعمل بالنشادر فإن مكونات النظام مثل الخزانات المضغوطة، الصمامات، والمكثفات تعاني من التآكل. السبب الرئيسي لهذا هو الفارق الكبير في درجة

**شكل (4.12)**: مكثف تبخيري تتراكم عليه القشور بفعل أملاح المياه غير المحلاه.

حرارة الجو الخارجي في معظم الدول العربية ودرجة الحرارة التي يكون عليها وسيط التبريد بداخل الأنابيب والذي يصل لحوالي 80 °م في أوقات الصيف وذلك على إفتراض أن درجة الحرارة في أوقات الذروة وتحت أشعة الشمس 50 °م في بعض الدول في حين تكون درجة تبخير وسيط التبريد بداخل الأنابيب -33 °م. تناوب تعرض أجزاء من النظام للسخونة والبرودة وفي حال عدم إحكام عملية العزل ينتج عنه تكثف الرطوبة والتي تؤدي لإتلاف العزل بالإضافة للإجهادات الحرارية التي تتعرض لها تلك المواسير مما ينتج عنه تآكل في سمكها بمضي الزمن. السطوح الباردة تميل دائما لجذب الرطوبة من الهواء المحيط ، لذلك يجب أن تكون محمية بالعزل والذي يسمى حاجز البخار. هذا الإجراء غير مطلوب للمواسير التي يمر بها بخار وسيط التبريد الساخن.

المكثف التبخيري غالبا ما يكون عرضة لهذا النوع من التآكل أيضا، ولذا تكون شبكة الأنابيب الخاصة به مغلفة بالزنك ويجب صيانتها بصورة ملائمة (شكل 4.12). في حال تم إختراق طبقة الحماية بالزنك بفعل التآكل فإن ذلك يفسد لفائف الصلب الخاصة بالمكثف ويؤدي لحدوث تسريبات لوسيط التبريد ليس من السهل تحديد مكانها بدقة وفي حال التعرف عليها يتطلب الأمر إيقاف النظام ولحام أو تغيير الأجزاء التالفة. لذا يفضل تقسيم الحمل التبريد على مكثفين حتى لا يتم فقد كامل السعة التبريدية في حال حدوث هذا. معظم مشاريع التبريد ليس لها نظم معالجة المياه التي تخلصها من الأملاح وتمنع تراكمها على أنابيب المكثف. لعلاج ما سبق يجب فحص جودة العزل الحراري بصورة دورية عن طريق الكاميرات الحرارية وفحص عزل طبقة البخار العازلة للنظام ككل حيث تقوم تلك الكاميرات الحديثة بتلك المهمة بكفاءة جيدة. أيضا يجب إجراء عمليات الصيانة الدورية اللازمة لمكونات النظام ومنها المكثف بالإضافة لمعالجة مياهه ويجب تحليل عينات المياه بصورة دورية.

**3- إنسداد النظام وتلوث النشادر**

بفعل عمليات الصيانة وللتطبيقات ذات المدى الواسع من درجات الحرارة والتي تكون ضغوطها منخفضة عن الضغط الجوي فإن بخار الماء والهواء يتسربا لداخل دوائر التبريد مما يؤثر على نقاوة وسيط التبريد ويغير من خصائصه ويسوء أداء النظام ولا يحقق المرغوب منه من حيث درجات الحرارة. أيضا فإن وجود الشوائب الأخرى يؤثر على قدرة المبخر ويقلل من المساحة السطحية الفاعلة بفعل تراكم الزيوت داخلها وتكوينها لطبقة عازلة تقلل من فاعلية إنتقال الحرارة خلاله. لذا يجب تنقية دائرة التبريد وإتخاذ كافة الإحتياطات أثناء عمليات الإصلاح وتغيير الزيوت لمنع تسرب الماء والهواء. يمكن من خلال تحليل عينة من الزيوت معرفة كمية الماء الموجود في الدائرة حيث توجد طرق محددة لتحديد ما سبق بالإضافة لعينات من وسيط التبريد ذاته.

**شكل (5.12)**: نموذج لتدهور الأرضيات بأحد مشاريع التبريد.

**4- تدهور البنية الأساسية**

بالإضافة إلى تآكل الأنابيب وخزانات السائل المضغوطة فإن حالة البنية التحتية في كثير من مشاريع التبريد بعدة أماكن بالوطن العربي سيئة للغاية (شكل 5.12). ويشمل هذا غرف التبريد بمكوناتها من الأسقف

والجدران والأرضيات، الهياكل الداعمة والحاملة لشبكة المواسير بالإضافة للوصلات الكهربائية. يلاحظ أيضا أن تصميم غرف المحركات غير جيد مما يؤثر على جميع المعدات الميكانيكية. المحركات الكهربائية هي أيضا عرضة للتلف إذا لم يتم الحفاظ على درجة الحرارة المحيطة بها ضمن حدود معتدلة بالإضافة إلي الطقس المتغير والأتربة المتراكمة التي تؤثر على جميع عناصر التحكم والقياس الإليكترونية. الإهتزازات الدائمة والشديدة بفعل سوء عملية التركيب يؤدي لتصدع في أنابيب شبكة وسيط التبريد بنهاية الأمر وحدوث تسريبات مكلفة في صيانتها وإحلالها.

**5- إجراءات السلامة**

يجب إستحداث، تفعيل، وتطبيق القوانين والأنظمة البيئية الخاصة بحماية المُشغلين وغيرهم من الموظفين، والتجمعات المؤهولة بالسكان المحيطة بالمشروع من المخاطر المحتملة لتسرب المواد الكيميائية السامة مثل النشادر والتي تستخدم كوسيط تبريد في عدد كبير من مستودعات التبريد في الوطن العربي. يوضح شكل (6.12) بعض عمليات الصيانة الغير آمنة والتي يمكن أن تعرّض العمالة بالمشروع للكثير من المضار.

**شكل (6.12)**: بعض عمليات الصيانة تتم بصورة غير آمنة.

تسبب حوادث تسريب النشادر الكثير من الإصابات بل والموت للموظفين والقائمين على التشغيل، وكذلك في المجتمعات المحلية المحيطة بالمشروع. النشادر تسبب التآكل الشديد والتعرض لها قد يؤدي إلى نوع من الحروق الكيميائية على الجلد والعينين والرئتين وقد تؤدي أيضا إلى ما يسمى عضة الصقيع. السبب في ذلك هو أن نقطة الغليان للنشادر شديدة الإنخفاض (-33 ºم) الأمر الذي يعني أن لديها قابلية عالية لإمتصاص الماء. تميل النشادر للإنتقال إلى المناطق الرطبة بجسم الإنسان مثل العيون والأنف والفم والحلق والجلد . في حال تسربها فإنها تشكل سحابة بيضاء تقوم بإمتصاص الرطوبة من الهواء بسرعة وتكون ظاهرة للعيان حيث تميل إلى الإنتقال بإمتداد الإرض في الطقس البارد ولذا ينبغي أن لا يُسمح لتلك السحابة البيضاء الكثيفة بالدخول لأى منطقة بها عمالة حيث أنها شديدة الضرر على الرئتين.

من مميزات النشادر أنها ذاتية الإنذار بمعنى أنه وبفعل رائحتها النفاذة فإنه يمكن إكتشافها وإتخاذ الإحتياطات اللازمة حيالها بوقت مبكر. يمكن إكتشافها عند تركيزات من 5 إلى 50 جزء في المليون حيث لا يشكل التعرض لها مشكلة في حدود هذه التركيزات بإستثناء الصداع، وفقدان حاسة الشم، الغثيان، والتقيؤ. التركيزات التي تزيد عن ذلك (50 جزء في المليون للدقيقة) تؤدي لتهيج في الأنف، الفم، والحلق مما يسبب السعال وغيرها من الأعراض. التركيزات من 300 إلى 500 جزء في المليون تشكل خطر فوري على الحياة والصحة. النشادر أيضا قابلة للإشتعال والإنفجار ويمكن إشعالها من قبل أشياء شائعة مثل الوميض الكهربائي. تتمثل إجراءات السلامة في تركيب حساسات للتسريب تستشعر تركيز النشادر في مناطق مختلفة من المشروع والمحتمل حدوث تسريبات بها مثل غرفة المحركات. يجب أن تعمل تلك الحساسات بصفة دائمة على مدار اليوم والأسبوع. يجب ربط تلك الحساسات آليا بمحطة الإطفاء الرئيسية بالمنطقة، ويجب معايرة تلك الأجهزة بصفة مستمرة للتأكد من صلاحيتها ولضمان ضبطها على التركيزات الملائمة.

**6- تغير الظروف الفعلية**

في كثير من الأحيان لا يكون السبب في عدم صلاحية نظام التبريد هو نهاية عمره التشغيلي بل ربما يرجع السبب في ذلك إلى تغير ظروف عملية التشغيل وإكتشاف تباين كبير ما بين الظروف الفعلية وتلك الإفتراضات التي قام عليها التصميم وتم إختيار المعدات وفقا لها حيث أن عملية الإنتاج قد تطورت وزادت السعة التبريدية الفعلية المطلوبة ولم يعد يستطيع النظام القائم الوفاء بها بكفاءة.

**7- ندرة قطع الغيار**

بفعل قدم الأنظمة في الكثير من الأحيان فإنه توجد مشكلة حقيقية في قطع غيارها نظرا لتحول خطوط إنتاجها لمكونات وأجزاء أحدث. أيضا فإنه وخلال الثلاثون عاما الماضية فقد خرجت من السوق الكثير من الشركات وبالتالي لا يوجد أى دعم فني لمنتجاتها فضلا عن عدم توافر قطع الغيار لتلك المعدات والتي أعتادت تلك الشركات توفيرها. أحيانا توجد قطع غيار مقلدة غير أن استخدام تلك القطع يؤدي للكثير من المشاكل والأعطال بالإضافة لإرتفاع ثمنها وقصر عمرها الإفتراضي. يتم التغلب على تلك المشكلة في أغلب دول الوطن العربي من خلال تصنيع تلك المكونات محليا لكن هذا يتم بصورة رديئة جدا من حيث المواصفات، الخامات، والتشطيب مما يؤدي لسوء أداء النظام وتدهوره بمضي الزمن. يجب على القائمين على التشغيل حصر القطع الرئيسية المطلوبة وعمل ما يلزم نحو توفيرها في الموقع لأي إحتياج مستقبلي حيث يجب مراجعة تلك القائمة بصورة دورية. في حال تكرار الأعطال وبروز الحاجة الدائمة لتلك القطع فمن الأفضل إحداث تغيير جذري وفقا للجدوى الإقتصادية لهذا الخيار.

**8- التلوث بالغازات الغير قابلة للتكثف**

كما سبق إيضاحه ولنظم التبريد متعددة الأغرض وبفعل الضغوط المنخفضة يتسرب الهواء وبخار الماء ويختلط بالنشادر. أيضا يتبخر جزء من الزيوت بفعل الحرارة العاليه بالإضافة لمكونات أخرى مثل النيتروجين ومكونات الفريون الأخرى للأنظمة التجارية. تتراكم تلك الغازات وتختلط بوسيط التبريد حيث يجب تنفيسها بصورة دورية وطردها خارج النظام وعادة ما يتم هذا من أدنى نقطة في النظام حيث توجد أجهزة خاصة لإنجاز تلك العملية. في حال عدم التخلص من تلك الغازات الغير قابلة للتكثيف فإن أداء النظام يتأثر سلبا بفعل ما يلي:

- إنخفاض قدرته التبريدية.
- زيادة الطاقة المستهلكة.
- إنخفاض كفاءة النظام.
- زيادة درجة حرارة الطرد من الضاغط.
- إرتفاع درجة حرارة التكثيف.

**ثانيا: مشاكل تشغيلية**

**1- حالة الزيت**

معظم أنواع ضواغط التبريد تتطلب مواد للتزييت لضمان العمل الكفؤ حيث يقلل هذا من الإحتكاك في كراسي المحرك، وكذلك في بقية أجزاء الضاغط المتحركة سواء كان من النوع اللولبي أو الترددي. تساهم عملية التزييت أيضا في فاعلية دورة التبريد والتنظيف الداخلي للمحرك من أى شوائب حيث تعلق مع الزيت ويتم حجزها في مرشح الزيت والتي عادة ما يتم تغيره بصورة دورية وبالتالي تعتبر زيوت التزييت وتغييرها من أهم الإجراءات للحفاظ على أداء الضاغط وإطالة عمره التشغيلي. لذا ينبغي رصد تلك العملية بإنتظام من حيث نوعية الزيت كماً ونوعاً حيث طبيعة الزيت التي يتم تغيرها تعكس جودة المحركات وأجزائها الداخلية. كمية الزيت توضح مدى تراكمه وهروبه لداخل النظام مع عدم القدرة على إسترجاعه.

الإعتبارات الرئيسية التي يجب مراعاتها للزيت هي المظهر العام، اللون، اللزوجة، ومحتواه من الماء، وجود شظايا معدنية به من عدمه. إذا لوحظ من خلال عمليات الفحص المنتظمة أن كل ما سبق يزداد سوءا، فإنه يجب تغيير الزيت من أجل حماية الضاغط مع الإستعانة بتوصيات المُصنّع في هذا الشأن. من خلال ما سبق يمكن أيضا معرفة إذا ما كان هناك خطأ في النظام يسبب تدهور الزيت مثل درجات الحرارة العالية، تسرب الماء من المكثف، وظهور الشظايا المعدنية بفعل تآكل كراسي المحرك. وينبغي التحقق من سبب وجود تلك الشظايات في أسرع وقت قبل زيادة التدهور وإرتفاع تكلفة الإصلاح.

الزيوت المعدنية تميل إلى التدهور وتنخفض لزوجتها بمرور الوقت حيث يتم كسر سلسلة الجزيئات الطويلة لها، أو أنها قد تزداد طولا بفعل تلوثها بالماء. قد يكون من المناسب للكثير من مشاريع التبريد في الوطن العربي التغيير للزيوت التخليقية الحديثة والتي قد تكون أكثر تكلفة لكنه من غير المحتمل أن تحتاج إلى التغيير بشكل متكرر وهذا سيكون إستثماراً جيداً على المدى البعيد.

**2- العمالة الغير مدربة**

للقيام بأعمال الصيانة أو الإصلاحات حتى لأبسط نظم التبريد ، فإنه من الضروري أن يكون لدى القائم على العمل المعرفة السليمة لنظام التشغيل والخلفية الهندسية للدائرة بكافة تفاصيلها مثل:

- وظائف الصمامات المختلفة.
- الخصائص العامة للنظام.
- الأدوات أو المعدات المتخصصة اللازمة لتنفيذ تلك المهام.
- الغرض من تنفيذ مهمة معينة.

يعاني الوطن العربي من حاجة شديدة وماسة للكوادر الفنية في قطاع الصيانة الخاصة بالتبريد الصناعي والتجاري والمطبقة لقطاع الحاصلات البستانية حيث يمكن إدراك الكثير من العقبات التي تواجه تلك الصناعة في العديد من البلدان بسبب غياب تلك الكوادر بصورة خاصة.

دور المُشغل للنظام هو الحفاظ على سلامة آداء ومصداقية أنظمة التبريد الخاص بالشركة من خلال التشغيل والصيانة المثلى لها. جزء كبير من الإستثمارات والأرباح تعتمد على فعالية تلك الأنظمة وترشيد إستهلاكها للطاقة. إن تطوير "دليل تصميم النظام والصيانة والتشغيل" كوثيقة مكتوبة ومرجعية حاكمة وتحديثها بصورة دائمة ستساهم في إنجاز تلك المهمة بصورة فاعلة. لذا يعتبر التدريب من العوامل الهامة جدا وينبغي توفير فرص التدريب وأن تصمم برامج خاصة لذلك وفقا لإحتياجات الشركة وبناء على ما لديها من معدات. يجب أن يشمل التدريب العمالة الفنية والإدارية الأخرى الذين يعملون داخل مناطق الحيز المبرد وغرفة محركاته. ينبغي التدريب على مخاطر الحوادث المرتبطة بالنشادر بطريقة تشجع على الإبلاغ الفوري عن أى ضرر ناتج عن النظام حيث أن الوعي الفوري لأى مشكلة محتملة، يمكن أن يساعد المشغلين على تقليل إنتشار النشادر المتسربة بسرعة والسيطرة على أى أعراض ربما تسببها.

قام المعهد العالمي للتبريد بالنشادر (IIAR) بتطوير إطارعام إرشادي يتضمن كافة العناوين العريضة التي يجب أن يتلقاها أى متدرب. في هذا البرنامج تم تقسيم الجرعات التدريبة وفقا للخلفية العلمية للمشغل حيث يمكن الإستعانة به لتطوير مثل هذا التخصص في الوطن العربي سواء في الجامعات أو المعاهد الحكومية أو من خلال مبادرة القطاع الخاص. أيضا توجد مؤسسات عالمية ذات باع طويل في عمليات التدريب في مجال التبريد الصناعي ويمكن محاكاة برامجها وعقد إتفاقيات ثنائية معها للعمل المشترك. يوضح شكل (7.12) صالة التدريب بأحد تلك المعاهد بالولايات المتحدة الأمريكية.

**شكل (7.12)**: قاعة للتدريب علي التبريد الصناعي بأحد المعاهد الأمريكية.

**3 - تسريب النشادر ووسطاء التبريد الأخرى**

من المفترض إحكام نظام التبريد وعدم تسرب أى كميات وسيط تبريد منه. توجد أرقام مزعجة عن تسريب النشادر ووسائط التبريد بمشاريع التبريد في الوطن العربي حيث يجب فحص النظام وتحديد سبب وأماكن تلك التسريبات بصورة دقيقة. يجب تسجيل

كميات وسيط التبريد المضافة للنظام سنويا والتأكد من أنها في النطاق الطبيعي ووفقا لتوصيات المُصنع. توجد العديد من المعدات والوسائل التي يمكنها إكتشاف تلك التسريبات في مكونات النظام المختلفة.

**شكل (8.12)**: عزل ما تحت أرضية مخازن التبريد بالسخانات الكهربائية.

**4- عزل تحت الإرضيات**

للغرف متعددة الأغراض والتي تغطي مدى واسع من درجات الحرارة فإنه وبمضي الزمن تنقل البرودة الشديدة للتربة والتي عادة ووفقا لموقع المشروع يتجمد محتواها المائي. بفعل تمدد الثلج المتجمد يحدث تهتك لأرضية المشروع وطبقاتة الخرسانية حيث تكون عمليات الصيانة باهظة التكلفة وصعبة للغاية. لذا يجب عزل ما تحت الطبقات السفلية وضمان الحفاظ على درجة حرارتها عالية بصورة دائمة لمنع تكون أى طبقات ثلجية. يتم هذا بعدة طرق منها وضع سخانات كهربائية غير أن تكاليف الصيانة والتشغيل عالية لهذا الخيار (8.12). الحل الأخر هو إعادة استخدام جزء من طاقة النظام المهدرة بتسخين سائل (الجليكول) ودفعه لشبكة مواسير أسفل التربة.

في المناطق ذات درجات الحرارة العالية يمكن استخدام شبكة مواسير مثقبة أسفل أرضية المشروع تسمح بدخول الهواء الجوي من جهه وخروجه من جهه أخرى وبذلك يكون هناك تيار من الهواء الساخن بصورة دائمة يمنع تجمد الماء الأرضي (شكل 9.12). يمكن استخدام مرواح لتعجيل دفع الهواء. للمناطق عالية الحرارة على مدار العام والتي يكون فيها الماء الأرضي منخفض و يمكن فقط إنجاز ذلك من خلال الطبقات المسامية التي تثبت أسفل الإرضية مثل الزلط أو البحص.

**5- إهتزاز المعدات**

إعتماداً على طبيعة المعدات الموجودة في الموقع، يجب فحص مدى الإهتزاز في المعدات الدوارة (الضواغط والمضخات) والتأكد من أنها في إطار المدى المقبول. في حال تجاوز الإهتزازات المدى المقبول فإن ذلك يشير للعديد من المشاكل في تلك المعدات وطرق تثبيتها خاصة في كراسي المحركات الداخلية. يمكن أن تؤدي الإهتزازات المفرطة إلى تسرب وسيط التبريد بفعل تصدع شبكة الأنابيب الخاصة به وما ينتج عن ذلك من أضرار. وينبغي إستشارة الشركة المصنعة للمعدات بخصوص البيانات الخاصة بمدى الإهتزازات المقبولة.

**6- إذابة الصقيع**

يحدث بفعل تغير الطور الدائم لوسيط التبريد داخل أنابيب النظام ما يسمي بمطرقة الماء السائل حين يُسمح له فجأة بالسريان خلال صمام مقفول. أحيانا توجد مناطق قد يتبخر فيها السائل ويحول البخار دون سريان الكميات المحجوزة ورائها من السائل. تشكل تلك الظاهرة العديد من المشاكل ومنها التصدعات والتشققات التي تحدث في مناطق اللحام والمناطق الأخرى الضعيفة في المواسير مما يؤدي لتسرب وسيط التبريد. نظام إذابة الصقيع بالغاز الساخن هو أكثر الخطوط عرضة لتلك المخاطر. أيضا واحدة من الأسباب التي تؤدي لتلك التصدعات هو التباين الكبير في درجة حرارة وسيط

**شكل (9.12)**: أنواع عزل ما تحت أرضية مخازن التبريد متعددة الأغراض.

التبريد داخل المواسير ودرجة حرارة الأجواء المحيطه لذا يلزم عمل إختبارات مسبقة على نظام المواسير (Impact test) من خلال أخذ عينات من الأجزاءالمختلفة من شبكة المواسير وعمل إختبارات فعلية تحاكي أجواء التشغيل التي ستتعرض لها. حديثاً ظهرت العديد من برامج الحاسب التي تُمكن من محاكاة تلك الإجهادات المختلفة التي تتعرض لها المواسير. توجد العديد من التشريعات والقوانين بالدول الغربية التي تجعل من تلك الإجراءات وجوبية غير أنه وفي الوطن العربي لا توجد مثل تلك التشريعات ولا المختبرات المتخصصة.

**7- صمامات آمان التنفيس**

يتم تصميم نظم التبريد لتتحمل ضغوط معينة وفقا لدرجات الحرارة المرغوب تحقيقها ووفقا لدرجة حرارة الأجواء الخارجية. في بعض مناطق دائرة التبريد وخزانات السائل (شكل 10.12) المعرضة لدرجات حرارة عالية وأجواء غير مناسبة ربما يزيد الضغط الداخلي المعرض له الخزان أو الأنبوب ويظل يتراكم هذا الضغط حتى يتجاوز القيمة التصميمية فيُحدث إجهاداً شديداً على جدار الأنبوب أو الخزان مما يؤدي لإنفجاره في نهاية الأمر مسبباً كوارث حقيقية على المبنى، والعاملين والبيئة المحيطه بالإضافة للمنتج. عادة ما تركب صمامات آمان لتنفيس هذا الضغط عند تجاوزه قيم محددة. يتم تصريف البخار لخزانات مياه أرضية تقوم بإمتصاص النشادر والحد من أى مخاطر لها. هذه الصمامات مزدوجة حيث وفي حال فشل إحداها يقوم الأخر بالعمل. يجب فحص تلك الصمامات بصورة دورية وتغييرها كل فترة زمنية محددة وهي خمس سنوات أو وفقا لتوصيات المصنع.

**شكل (10.12)**: خزانات سائل النشادر المضغوط بصمامات الآمان لتنفيس الضغط الزائد.

**8- الطاقة المستهلكة**

عادة ما ترتكز ربحية مشاريع التبريد على مدى إستهلاكها للطاقة وسلاسة، سرعة، وكفاءة نظام التداول الداخلي للمواد المخزنة بها. توجد مكونات كثيرة مستهلكه للطاقة بمشاريع التبريد مثل الضواغط، الإضاءة، مراوح المكثفات، مراوح المبخرات، المضخات، ومرواح نظم التبريد السريع. لمعرفة مدى كفاءة النظام يجب تقييم معامل الأداء بصورة مستمرة. معامل الأداء في مجال الخزن المبرد يعني القدرة التبريدية المتحصل عليها منسوبة لفاتورة الكهرباء الخاصة بالنظام. لقياس معامل الأداء يجب تسجيل الكميات الواردة ودرجات الحرارة لها ومن ثم معرفة الزمن المستهلك للوصول لدرجات الحرارة النهائية وفقا لتصميم المحطة. إحكام غلق الأبواب والعزل يؤثر على زمن الوصول لدرجة الحرارة المرغوبة. يتم تكرار تلك الخطوة للمشروع على مدار فترة زمنية محددة ومن ثم قياس الطاقة المستهلكة من قبل مكونات النظام . يعقب ذلك تقدير هذا المعامل حيث يمكن أن يصل لقيم 3،4 ،5. كلما كبرت قيمة المعامل كلما زادت كفاءة النظام. في حال تدنى هذا الرقم يجب مراجعة كل مكونات النظام للحد من إستهلاك الطاقة ومن ثم زيادة معامل الأداء. نماذج للفرص المتاحة بغرض توفير الطاقة تتمثل فيما يلي وذلك في مخازن الحاصلات البستانية المبردة:

**شكل (11.12)**: غرف تبريد لخزن البطاطس بدون نظام إطفاء للحرائق.

1- إحكام وإصلاح أى عيوب أو تشققات في عزل الجدران، الأسقف، أو الأرضيات.
2- إحكام غلق الأبواب بستائر بلاستيكية بنسب تداخل لا تقل عن 10 % أوبستائر هوائية.
3- مراجعة إستراتيجية التحكم للنظام وقيم ضبطها بصورة دائمة.

4- تركيب مغيرات السرعة على مراوح المكثف ونظم التبريد السريع.
5- تعويم ضغط المكثف للإستفادة من الأجواء الباردة في خفض درجة التكثيف.
6- تفعيل ومراجعة نظم التحكم في سعة الضواغط.
7- تعطيل الإضاءة الداخلية لغرف التبريد في حال عدم استخدام تلك الغرف.
8- تركيب نظم إضاءة موفرة للطاقة.
9- تجميع المنتج بغرفة حتى إمتلائها وتعطيل بقية الغرف في حال عدم وجود منتج.
10- تعديل نظم إذابة الصقيع لتكون وفقا للحاجة وليس الإذابة بصورة دورية.

**9- نظم إطفاء الحريق**

يجب توفير نظام إطفاء الحريق بمشاريع التبريد سواء داخل مخازن التبريد، غرف المحركات، المبنى الإداري، ورصيف الشحن والتحميل (شكل 11.12 وكل 12.12). يجب وضع علامات إرشادية لطفايات الحريق ومخارج الطوارئ. يجب عمل تدريبات دورية لكافة العاملين على إجراءات السلامة في هذا الإطار.

**10- العلامات الإرشادية**

يجب وضح كافة العلامات الإرشادية الملائمة بألوان مميزة على أنابيب وسيط التبريد لإيضاح المواسير التي تحتوي على بخار ساخن من غيرها الباردة لتجنب ملامستها. يجب أيضا تحديد المناطق المحظورة داخل المشروع والمخصصة فقط للكوادر الفنية مثل غرف التحكم وغرف المولدات الكهربائية وغيرها. أيضا يجب وجود العلامات الدالة على مخارج الطوارئ. يوضح شكل (13.12 وشكل 14.12) أحد غرف المحركات وعلى مكوناتها العلامات الإرشادية الدالة على ما بداخلها مقابل مشروع أخر ليس به تلك العلامات.

**شكل (12.12)**: غرف تبريد بنظام إطفاء الحرائق برشاشات سقفية.

**شكل (13.12)**: غرف المحركات بالعلامات الإرشادية على مكوناتها المختلفة.

**شكل (14.12)**: غرف المحركات بدون علامات إرشادية.

## الخلاصة

تشكل الصيانة عنصر هام من عناصر الحفاظ على كفاءة منظومة التبريد لإطالة عمرها التشغيلي وللحفاظ على جودة المنتج المخزن داخلها. تتنوع عمليات الصيانة فمنها الدوري ومنها الوقائي بالإضافة للأعمال الطارئة بفعل الأعطال المفاجئة. إستعرض الفصل الإشكاليات العامة والسمات الخاصة التي تواجه المخازن المبردة بالوطن العربي سواء من ناحية الصيانة أو التشغيل. إتباع التوصيات الواردة سواء من خلال التدريب أو إستحداث برامج الصيانة من شأنه أن يحدث طفرة في مجال التخزين المبرد بالوطن العربي.

## الفصل الثالث عشر

# أمن وسلامة مخازن الأغذية


### الملخص

توجد العديد من مصادر التلوث داخل مستودعات الأعذية المبردة والتي تسبب الكثير من الفواقد وينتج عنها خسائر إقتصادية بالغة. الفطريات والبكتريا أحد المصادر الرئيسية والتي يجب العمل على التخلص منها بصورة فاعلة أثناء فترة التخزين المبرد والتداول بصفة عامة. أيضا يجب الحد من مصادر الحوادث الناجمة في المستودعات بفعل عمليات الإنزلاق، التسريب والحرائق وغيرها من المسببات. في هذا الفصل سيتم التعرض لكل ما سبق مع تقديم التوصيات الخاصة بتجنب تلك الحوادث والإشتراطات العامة الواجب إتباعها بغرض توفير أفضل الأجواء للحفاظ على السلامة والآمان.


### مقدمة

هناك العديد من مصادر التلوث في مخازن تبريد الأغذية . يمكن أن تكون المنتجات القادمة للتخزين ملوثة بواسطة الفطريات والبكتيريا خلال موسم النمو في الحقل، أو في أحد عمليات التداول بدئا من الحصاد والنقل والتخزين. يمكن أن تكون العبوات الحقلية المستخدمة أثناء الحصاد وتلك المستخدمة أثناء التخزين، التصنيع، التعبئة، التغليف أحد تلك المصادر بالإضافة للمعدات، جدران مخازن التبريد، الهواء المحيط وغيرها من مصادر التلوث. يسمح وجود النفايات في المستودعات أو بالقرب منها مثل تلك التي تنتج عن فرز البطاطس بتكاثر الكائنات الدقيقة بسرعة لتصبح مصدرا رئيسيا لتلوث المنتجات التي تم تخزينها. تراكم المواد المتطايرة من عمليات الفرز والتدريج يوفر ما يكفي من مصادر الكربون لدعم نمو الفطريات وربما بعض البكتيريا. أيضا، المياه المستخدمة في عمليات ما بعد الحصاد لتنظيف المستودعات وغسيل الصناديق يمكن أن تكون مصدرا للتلوث. تؤدي أنواع مختلفة من الكائنات المجهرية لتلف الأغذية في المخازن المبردة ومع ذلك فإن البكتيريا المسببة للتعفن والفطريات تعتبر الأكثر شيوعا.

### البكتريا

البكتيريا التي تسبب التعفن هي كائنات دقيقة وحيدة الخلية وتتكاثر بالانقسام. في حال ما إذا كانت الظروف البيئية مناسبة يمكن لها وفي ظرف 20 إلى 30 دقيقة أن تتضاعف. البكتيريا تنتشر عادة عن طريق الإتصال المباشر بين السلع سريعة التلف، مع الأسطح الملوثة، مع بعضها البعض، أو تنتشر بفعل المياه المعالجة في إى من مراحل التداول. بعض من هذه البكتيريا يمكن أن تكون ممرضة للإنسان، مثل الليستريا (*Listeria monocytogenes*)، حيث وجدت في بعض الأحيان على بعض الخضروات.

### الفطريات

الفطريات التي تسبب العفن يمكن أن تتطور بواسطة تغذيتها علي مواد عضوية قليلة جدا. بخلاف البكتيريا، الفطريات يمكن رؤيتها بالعين المجردة وتتكاثر عموما بإعادة تشكيل العديد من الجراثيم، والتي عادة ما تنتشر بسهولة عبر قنوات تصريف المياه أوعن طريق الإتصال المباشر ولا سيما عن طريق الجو. الجراثيم الفطرية يمكن أن تلتصق بجدران مخازن التبريد والمعدات المستخدمة فيها.

نمو العفن الفطري على الجدران قد يشير إلى عدم كفاية عزل الجدران والأسقف أو كونها مثقبة بالإضافة لسوء عزل البخار الخاص بها. في هذه الحالة حتى لو كانت المطهرات الكيميائية تطهر من معظم الفطريات، فإن الحل على المدى الطويل هو إستبدال أو إصلاح الخلل في عزل الجدران والأرضية.

العديد من هذه الكائنات تتغذى على بقايا المواد العضوية القابلة للتلف. في غياب مصادر المواد الغذائية يمكن أن تعيش على

المواد الأخرى، مثل الخشب والبلاستيك. عندما تهاجم الفطريات والبكتريا المواد العضوية فإنها تنتج الروائح الكريهة وينبعث منها الايثيلين وغيرها من المواد المتطايرة والتي يمكن أن تُغير الطعم وتُسّرع من نضج الفاكهة والخضروات المخزنة. على الرغم من صعوبة القضاء نهائياً على هذه الكائنات الحية الدقيقة، فإن إتخاذ التدابير الوقائية ووضع خطة تنظيف وتطهير ومراقبة جيدة تحد من إنتشارها وبشكل كبير وتُخفض من معدل العدوى وتُحد من تلف الأغذية المخزنة في المستودعات المبردة.

**تهدف عملية توفير بيئة آمنة لتخزين الأغذية مثل الخضروات والفاكهة لتحقيق الإشتراطات التالية:**

1. الحد من المواد الكيمائية والمبيدات المستخدمة.
2. الحد من أى مخاطر ميكروبية وجعل المنتج أكثر آمانا.
3. الحد من استخدام المواد الكيمائية المضادة للتزريع.
4. الحد من إستهلاك المياه.
5. الحد من إنتاج المواد الصلبة الملوثة للبيئة.
6. الحد من إستهلاك الطاقة.
7. زيادة كفاءة استخدام المنتجات الزراعية والحد من الفاقد.
8. تطوير منتجات وطرق حفظ وتصنيع ملائمة للبيئة، مرغوبة للمستهلك، وذات عائد مقبول للمنتج.

في هذا الإطار يجب العمل لتفادي كافة تلك المخاطر وفقا للتصنيف التالي:

## أولا: الحوادث العامة

للحوادث العامة علاقة مباشرة بالتخطيط الداخلي للمخازن حيث تعاكُس عمليات السريان وتقابلها في مناطق إختناق يكون أحد الأسباب الرئيسية لحدوث تلك الحوادث مع عدم إتساع الممرات الداخلية بصورة كافية. يمكن إجمال الأسباب التي تسبب تلك الحوادث كما يلي:

1- فقر المخطط ومناطق المشروع المختلفة لسبل السلامة والآمان.
2- عدم إستواء أرضية المخازن بصورة دقيقة مما يسبب إختلال لرصات العبوات وسقوطها أثناء عمليات التداول المختلفة.
3- عدم جفاف الأرضيات بصورة دائمة حيث البلل والترطيب من أكثر العوامل خطورة.
4- سوء إدارة وتشغيل معدات التداول وتحميلها أحمال زائدة تؤثر على إتزانها بالإضافة لعدم التدريب الجيد عليها.
5- عدم إلتزام العمالة الداخلية للمخازن بإجراءات السلامة وإرتداء مهمات الوقاية مما يسبب إصابتها بفعل سقوط المنتجات.
6- عدم وجود أجهزة إنذار ضد عمليات التسرب المختلفة لوسيط التبريد مثل النشادر.
7- تعطل وعدم صيانة صمامات الأمان ومن ثم يؤدي ذلك لإنفجارات وحرائق.
8- غياب محطات الغسيل ووقاية الأعين وغيرها والتي تعتبر إسعافات أولية ضد مخاطر تسرب النشادر.
9- عدم تجهيز غرف المحركات والتي تحتوي على ضواغط التبريد بالوسائل المناسبة لعمليات التهوية في حال تسرب وسيط التبريد.
10-عدم تشطيب الأرضيات بالمواد المناسبة ضد الإنزلاق وعدم تنظيفها بصورة دائمة.
11-سوء التوصيلات الكهربائية وعدم تغطيتها وصيانتها بصورة ملائمة حيث يجب أن تكون جميع التوصيلات والتجهيزات الكهربائية داخل المخازن مركبة وفق الأصول والمواصفات الفنية التي تضمن سلامة المخازن من خطر الحريق ولا يسمح بإجراء أى تعديلات أو إضافات إلا تحت إشراف المسئولين عن الكهرباء .
12-يجب تغطية مراوح التبريد السريع بالشبكات المعدنية الملائمة.

13-غياب الإحتياطات الكافية ضد الحريق لذا يجب تجهيز المخـازن بأجهزة ومعدات الإطفاء التي تتناسب مع المساحات المخصصة لها ونوعية المواد التي سيتم تخزينها بالمخازن. أيضا يجب تجهيز المخـازن بوسيلة لإنذار الحريق وتوصيلها بغرفة المراقبة بالدفاع المدني.

14- يراعى تجهيز مخازن المواد الكيمائية بنظام للإطفاء التلقائي.

15- يجب أن تكون الأبواب والجدران المعزولة من النوع المقاوم للحرائق.

16- عدم وجود خطة سلامة عامة فضلا عن عدم التدرب على إجرائها بصورة دورية.

17- تزويد فتحات الإضاءة والتهوية بسلك صلب مزدوج ضيق النسيج لمنع إلقاء أى أجسام غريبة داخل المخزن.

18- عند استخدام الإضاءة يجب أن تكون جميع التجهيزات مأمونة بحيث لا تكون سبباً في إحداث حريق أو إنفجار داخل المخازن ومن النوع الذي يمكن غسله بسهوله.

19- يجب أن تكون الأسوار الخارجية المحيطة بمخازن التبريد على إرتفاع ملائم وكذلك بناء غرفة للحارس عند البوابة الرئيسية للمخازن وتجهيزها بمعدات السلامة ولوحة إنذار الحريق الرئيسية ونظام للمراقبة المرئية حتى يتسنى حراسة المخازن ضد الحريق والسرقة.

20- نشر تعليمات الأمن والوقاية على العاملين والتدريب عليها.

21- الإحتفاظ بسجلات منتظمة عن الحوادث والإصابات والحرائق.

22- التأمين على الممتلكات فى المستودعات والعاملين فيها من الحرائق.

23- إجراء الصيانة الدورية لأجهزة ومعدات الإطفاء الموجودة بالمخازن وتعليقها في أماكن ظاهرة يسهل الوصول إليها.

24- توفير أجهزة ومعدات الإسعافات الأولية بمخازن التبريد ووضعها في مكان ملائم ظاهر داخل صندوق (مكتوب عليه عبارة إسعاف ورمز الهلال باللون الأحمر) ويراعى تدريب مجموعة من العاملين على القيام بأعمال الإسعاف الأولي.

عدم مراعاة ما سبق يؤدي لكثير من الضرر للمشروع ويتمثل في الخسارة البشرية والخسائر المادية بالإضافة لتعطيل العمل والإنتاج.

## ثانيا: سلامة المنتج

عوامل كثيرة يمكن أن تسبب مشاكل تلوث المنتج :

1- تلوث المنتج بفعل تعرضه لوسيط تبريد سام وغير ملائم.

2- ضعف عبوات المنتج بفعل استخدام نظم تبريد توفر نسبة رطوبة عالية في صور ماء حر ُيمتص من خلال العبوات الكرتونية للمنتج.

3- عدم معالجة وتحلية مياه المرطبات مما قد يسبب إنتشار العدوى وخاصة الفطريات.

4- تلوث الهواء المدفوع من المبخرات بفعل تراكم البكتريا والجراثيم داخلها وعدم وجود أى آلية لتنظيف هذا الهواء.

5- تسرب الملوثات من الهواء الخارجي بفعل عمليات التهوية وعدم ترشيحه ومعالجة هذا الهواء بصورة ملائمة.

6- عدم إلتزام العمالة الملامسة للمنتج بصورة مباشرة بإجراءات السلامة.

7- عدم الوقاية من الصدأ بفعل تخزين عبوات المنتج في الطبليات المعدنية غير المعالجة.

8- غياب مجاري الصرف وغياب إمكانية الغسيل الدوري للمخازن من الداخل لعدم ملائمة الجدران.

9- وجود تشققات بالأرضيات، أركان، وزوايا حادة بالجدران.

10- عدم مراعاة الترتيب الجيد عند تخزين المواد وذلك بتحديد مواقع الرصات بعلامات واضحة على الأرضيات والإلتزام بها بصفة مستمرة.

11- يجب إلا يبلغ إرتفاع الرصات مستوى الأسقف وأن يكون هناك مسافات لا تقل عن متر بين أعلى الرصات والسقف.

12- عدم وضع المواد المخزنة على قوائم وأرفف معدنية ووضعها على الأرض مباشرة.

13- التفتيش الدوري على المنتج للتأكــد من سلامته.

## ثالثا: الوقاية من الحشرات والآفات الأخرى

1- يجب الوقاية من الحشرات والجراثيم من خلال استخدام الطرق الملائمة لتلافي تأثيرها على المنتجات المخزنة.

2- تستخدم نظم التعقيم الحديثة لمخازن التبريد والتي يتم فيها استخدام الأوزون كبديل عن الكلور للحد من إنتشار الأمراض أثناء التخزين وللمحافظة على القيمة العضوية للمنتجات وما يصاحبه من قتل لكافة الحشرات والطفيليات والجراثيم مما يؤدي لزيادة العمر التخزيني.

3- تشكل عملية التعقب أو Traceability محور هام لعملية التداول الآمن للأغذية. هذا النظام دائم التحديث والتطور ويعود بالنفع على المنتج الخام والمُصّنع وخاصة في ظل تبني نظم الإشتراطات الصحية الحديثة مثل GAP والهاساب (HACCAP).

## رابعا: غسيل الصناديق الفارغة

يتم غسل وتخزين الصناديق الفارغة بمنطقة متاخمة لمنطقة التنزيل وإستلام المنتجات الزراعية الآتية من خارج المحطة والمتاخمة لصالة الإنتاج الرئيسية (الفرز، التدريج، والتعبئة) حيث يتم تغذية صالة الإنتاج الرئيسية بالصناديق الفارغة النظيفة بعد غسلها في منطقة الغسيل. كذلك يتم إستبدال الصناديق المستعملة بالنظيفة للسيارات المبردة على رصيف الإستلام. يشمل مخزن الصناديق الفارغة خط غسيل الصناديق الفارغة (الفوارغ) والذي يقوم بعملية غسيل وتعقيم وتجفيف الصناديق الآتية للمخزن وإعادتها إلى أماكن التخزين. يجب أن يقع المخزن في موقع يخدم جميع العناصر التي تحتاج لتبادل الصناديق المستعمله الغير نظيفة بالصناديق النظيفة بعد غسيلها. يتم تغطية سطح الأرضية بمادة إيبوكسية لحماية الأرضية الخرسانية المسلحة ويتم توفير المياه النقية والصرف الصحي اللازم لمخزن الصناديق والغسيل.

## خامسا: معدات التداول

ينبغي أن تتوفر للمعدات والحاويات الملامسة للخضروات والفاكهة الخصائص التالية:

1- ينبغي أن يسمح تصميمها بإمكانية تنظيفها وتطهيرها والحفاظ عليها نظيفة.

2- ينبغي تصنيعها من مواد غير سامة وصديقة للبيئة وقابلة للتدوير.

3- ينبغي أن تكون تلك المعدات قابلة للنقل أو يمكن فكها بما يسمح بالصيانة، التنظيف، التطهير، والتتبع وغيرها من الأسباب.

## سادسا: طرق إطفاء الحريق

**التجويع**: هو إبعاد أى مواد مغذية للحريق مثل الوقود عن الحريق.

**الإخماد**: يتم عن طريق منع الأكسجين ومصادره كليا ما أمكن ذلك ليصبح أقل من التركيز المناسب للإشتعال.

**التبريد:** عن طريق خفض درجة الحرارة للمادة المشتعلة وكذلك مخلوط أبخرتها مع الأكسجين إلى أقل من درجة إحتراقها.

## سابعا: الحد من الحرائق

1- إختيار طريقة الإطفاء المناسبة حسب مصدر أو سبب الحريق فالحريق الناتج عن الكهرباء يختلف عن الحريق الناتج عن الوصلات الكهربائية أو الغازات وكذلك وفقا لوسيط التبريد المستخدم.

2- منع استخدام النار والتدخين فى المناطق التى تتعرض للحرائق.

3- منع تكدس المخلفات المبللة بالزيوت أو الكيماويات القابلة للإشتعال.

4- توفير أجهزة الإنذار ومنافذ الهروب فى المباني وكذلك توفير معدات الإطفاء السريعة واستخدام الرشاشات العلوية ما أمكن.

5- إعتبار الوقاية والآمان عند تصميم مخازن التبريد والتصميم الداخلي واستخدام المواد العازلة للحرارة.

6- تُخزن البالتات والصناديق الخشبية في مكان منفصل وأن تكون الأرضيات صلبة وجافة.

**ثامنا: إدارة النفايات**

1- توفير نظم الصرف الصحي الكافية لمرافق التخلص من النفايات.
2- تُصمم وتبنى بطريقة تحد من أى خطرللتلوث ليتم التخلص من النفايات بعيدا عن إمدادات المياه الصالحة للشرب.
3- لا يسمح بتراكم النفايات بجوار المنتج الخام أو النهائي أو داخل المخازن وأن يتم التخلص منها بصورة دائمة.

**تاسعا: النظافة الشخصية**

لضمان توفر الإشتراطات الصحية في الأفراد المتعاملون بصورة مباشرة مع المنتجات الغذائية يجب التأكد من مستوى النظافة الشخصية لهم من خلال توفير المرافق التالية:

1- أحواض غسيل وإمدادات المياه بدرجات الحرارة الباردة والساخنة.
2- الصابون والمناشف الورقية.
3- توفير المراحيض الصحية المناسبة.
4- مرافق كافية لتغيير ملابس العاملين.
5- ينبغي أن تكون مثل هذه المرافق في مكان مناسب.
6- إرتداء الملابس الواقية المناسبة، تغطية الرأس، الأحذية، وتغطية الجروح.
7- منع التدخين وتناول الطعام داخل مستودعات التبريد.
8- يجب على العاملين غسل أيديهم باستمرار والتدريب الدوري على إجراءات السلامة المطلوبة وفقا لنظام الجود الملائم والمعتمد للمشروع.

**عاشرا: التتبع (Traceability)**

ينبغي أن تكون هناك إجراءات فعالة للتعامل مع أى أخطار محتملة تهدد سلامة الأغذية المتداولة في مخازن التبريد وتُمكن من عملية تتبعها وإسترجاع كافة المعلومات الخاصة بها من حيث المنشأ وظروف التداول. يجب إختبار تلك النظم والخطط بصورة دورية لضمان أن تكون شاملة وتعمل على إزالة المنتجات غير الآمنة وعدم وصولها للمستهلكين أو لسلسلة التوزيع.

**غسيل مخازن التبريد**

يؤدي وجود الكائنات الحية الدقيقة في مخازن التبريد إلى تعفن الأغذية ولذا يجب تبني خطة تنظيف دقيقة ومحكمة للقضاء على تلك الكائنات. بداية يجب عدم وجود بقايا المواد النباتية والتي تسمح للبكتيريا والفطريات والجراثيم بالبقاء على قيد الحياة حيث أنها تؤدي إلى خسائر كبيرة وبالتالي فإنه من المهم التمسك بمعايير صارمة للنظافة. لتكون خطة التنظيف فاعلة فإنه يجب إتباع خطوات معينة محددة. هذه الخطوات هي التنظيف، التطهير، الشطف، والتجفيف. التقنيات والمواد المستخدمة لتنفيذ تلك الخطة يجب أن تتوافق مع نظم المعالجة ومرافق التخزين والتي تتكون على النحو التالي:

- الأرضيات، الجدران، السقف، الأبواب، والهيكل المعدني.
- أنظمة التبريد، التهوية، نظم التداول.
- التركيبات الكهربائية.
- أنابيب المياه والهواء، وقنوات تصريف المياه.
- الحاويات، الطبليات الخشبية، والبلاستيكية.
- المنصات المستخدمة لمعالجة الحاويات.
- الآلات المستخدمة في المستودع.
- صناديق النفايات.

**التنظيف**

التنظيف هو الخطوة الأولى للحفاظ على سلامة وأمان المخازن المبردة للأغذية. الهدف الرئيسي للتنظيف هو التخلص من المخلفات التي تشجع على نمو الكائنات الحية الدقيقة حيث أن هذه البقايا تعتبر مصدرا رئيسيا لتلوث المنتجات المخزنة. التخلص الدائم من تلك المخلفات يساعد على الحد من الخسائر في المخازن المبردة وببساطة فإن الكنس الدائم للمستودع بصورة عامة يساهم في التخلص من تلك النفايات. يعتبر استخدام الفرشاة القوية ضروريا في حال إلتصاق تلك المخلفات بالأرضيات أو الجدران وحتى الأسقف. الحد من الغبار الناعم يعتبر مطلوبا أيضا لتسهيل خطوات التنظيف اللاحقة. ترطيب الأسطح أولا يعتبر وسيلة جيدة لتجميع الغبار دون إنتشاره في الهواء حيث يسهل التخلص لاحقا من الشوائب عن طريق الغسيل أو استخدام المنظفات. لأسباب تتعلق بالسلامة، يجب تغطية التوصيلات الكهربائية والمحركات بحيث لا تكون عرضة للماء. هذه الخطوة الأولية مهمة جدا لأن وجود المواد العضوية يعرقل ويعمل على تحييد حتى عمل المطهرات. بالإضافة إلى ذلك، فإنه يزيل المواد التي تعزز نمو الكائنات الحية الدقيقة في المستودع. ومع ذلك، فإن العديد من الكائنات الدقيقة لا يتم التخلص منها خلال هذه العملية حيث يجب القضاء عليها باستخدام المطهرات.

**التطهير**

يجب أن يتم تطهير المباني ومواد التعبئة والتغليف فقط في عند خلو مستودعات التبريد. يجب تغطية الأنظمة الكهربائية والمعادن، الأنابيب، الخ، وخاصة إذا كانت المطهرات المستخدمة تسبب تآكلها. تطهير مخازن تبريد الأغذيه ينبغي أن يتم فقط باستخدام الطرق المناسبة وكما هو موضح بجدول (1.13). يجب توخي الحذر خاصة إذا كان هناك إرتفاع في معدل التلوث. المطهر يقضي على الكائنات الحية الدقيقة على السطوح ومع ذلك ومن أجل أن تكون فعالة، يجب الإلتزام بالشروط ذات الصلة بدقة طوال الوقت.

المطهرات غالبا ما تكون مزعجة ولتجنب المشاكل الصحية لها من المهم ارتداء المعدات والملابس الواقية بما في ذلك نظارات الآمان، قناع التنفس، ملابس واقية من الفطريات والبكتريا، القفازات المطاطية، والأحذية. من المهم أيضا قراءة النشرة الخاصة باستخدام المطهرات الملائمة للغرض المنشود وبعناية شديدة واتباع التعليمات عند استخدامها. ينبغي الإمتثال بعناية للوقت المطلوب إنقضاءه والموصى به بين الإنتهاء من تطهير المستودع، ودخول الحاصلات البستانية الجديدة للمستودع. يجب عقب إنتهاء تلك الفترة تهوية الغرف بصورة جيدة من خلال فتح الأبواب ودفع الهواء داخلها. استخدام مرشحات الكربون النشط تساهم في منع تراكم الروائح الغير مرغوبة داخل المستودعات المبردة. دهان جدران المخازن المبردة بطلاء مقاوم للفطريات يساهم في الحفاظ على سلامة المستودعات.

الأوزون والأشعة فوق البنفسجية ليست فعالة في تطهير غرف التخزين بالإضافة إلى أثارها السلبية على الصحة، تركيزات الأوزون الضعيفة (0.5 جزء في المليون) يمكن أن تتلف الحاصلات البستانية سريعة العطب، البلاستيك ، أغطية الأسلاك الكهربائية، وبعض من العوازل.

ترك البالتات، الحاويات وغيرها من المعدات في الشمس أو تعريضها للرياح القوية يُطهرها جزئيا. يمكن استخدام مواد التبخير للوصول إلى أصغر الزوايا والأجزاء الخفية والتي لا يمكن الوصول لها بالطرق التقليدية. ومع ذلك، فإن هذا هو الأسلوب الوحيد الفعال عندما تستخدم مع السطوح الرطبة. عمليات التبخير تنطوي على مخاطر صحية كبيرة ويجب فتح المستودع للتهوية لعدة أيام عقب ذلك. من أجل أن تكون عملية التبخير فعالة يجب أن تتم تحت رعاية دقيقة وينبغي إتخاذ كافة الإحتياطات الخاصة بتجنب أى ملامسة لمواد التبخير عن طريق الخطأ.

**الشطف**

بعض المنظفات ومواد التطهير يمكن أن تُكسب الحاصلات البستانية بعض الروائح الغير مرغوبة وقد تسبب التآكل لبعض المعدات والمواد الخاصة بمخازن التبريد. لذا يجب عقب عملية التطهير إجراء عملية شطف بالماء خاصة عند استخدام المواد الموضحة بجدول (2.13). عملية الشطف تشتمل على كل السطوح والمعدات التي تم ملامستها على أن يتم البدء بالعناصر ذات المستوى العالي ليسري الماء بداية منها ثم للأجزاء أو السطوح ذات المستوى المنخفض. يجب التأكد من عدم وجود أى مياه راكدة وأن تكون المياه المستخدمة من النوعية القابلة للشرب ومن ثم تفادي إعادة تلوث مخازن التبريد مرة أخرى.

**جدول (1.13)**. بعض الكائنات الحية الدقيقة الأساسية والأضرار التي تسببها للفاكهة والخضروات المختلفة.

| المنتج | الفطر | البكتريا |
|---|---|---|
| الجزر | *Alternaria sp.*[1]; *Rhizopus sp.*[2]; *Sclerotinia sclerotiorum* [4] | *Erwinia spp.3* |
| الكرفس | *Acremonium apii*[5]; *Botrytis cinerea* [6] | *Erwinia spp.*[3]; *Pseudomonas spp.* [3] |
| الفاكهة عامة | *Penicillium sp.*[8] | |
| الخضروات عامة | | *Erwinia spp*[3]; *Pseudomonas spp.*[3]; *Yersinia enterocolitica*[7]; *Aeromonas sp.*[7]; *Listeria monocytogenes*[13]. |
| البصل | *Aspergillus sp.*[9]; *Botrytis cinerea*[6], *Penicillium spp.*[8], *Fusarium oxysporum f.sp. cepae*[10] | *Erwinia spp.*[3]; *Pseudomonas spp.*[3] |
| الفلفل الرومي | *Alternaria sp.*[1] | *Erwinia spp.*[3]; *Pseudomonas spp.*[3] |
| الكمثرى | *Penicillium expansum*[8]; *Botrytis cinerea* [6] | |
| التفاح | *Penicillium expansum*[8]; *Botrytis cinerea* [6] | |
| البطاطس | *Fusarium sp.*[13]; *Phoma sp.*[12] | *Erwinia spp.*[3], *Listeria monocytogenes* [13] |
| البطاطا | *Rhizopus sp.2; Fusarium sp.11* | *Erwinia chrysanthemi* [3] |
| الطماطم | *Alternaria sp.*[1]; *Rhizopus sp.*[2]; *Botrytis cinerea* [6] | *Erwinia spp.*[3]; *Aeromonas sp.*[7]; *Pseudomonas spp.* [3] |

1- العفن الأسود *Alternaria*، 2- العفن الأسود، 3- العفن الناعم للمنتجات سريعة العطب، 4-العفن الأبيض، 5-التبقع البني، 6- العفن الرمادي، 7- الإسهال لدى الإنسان، 8- العفن الأزرق، 9- العفن الأسود، 10- تعفن القلب الفيوزاريومي، -11 التعفن الفيوزاريومي، -12 الغرغرينا، -13 داء الليستريات.

**جدول (2.13)** : المطهرات المعتمدة لتنظيف مستودعات الفاكهة والخضر (Toussaint *et al*, 1999.)

| العنصر الكيميائي | النشاط | | يُعطل مفعوله بسبب المادة العضوية | التآكل | المحلول | وقت التعريض (دقائق) | المميزات | العيوب |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | الفطريات | الجراثيم | | | | | | |
| Hypochlorides (Javex 5.25 to 6 % a.m.) | جيد | جيد | نعم | نعم يسبب التآكل الشديد للمعادن | 10 ليتر/90 ليتر ماء | 10 | سريع المفعول وقليل التكلفة | - يغير لون مواد معينة<br>- له رائحة<br>- مهيج<br>- يجب أن يستبدل بصورة متكررة<br>- حساس لدرجة حموضة الماء<br>- يمكن أن تترك رائحة على المنتج<br>- لابد من الشطف |
| رباعي الأمونيوم | جيد جدا إلي جيد | جيد | بدرجة خفيفة | لا | 8- 24 مللي ليتر/ ليتر ماء | 10 | فاعل عن درجات الحرارة المنخفضة ويمكن دمجه مع المنظفات | - لا يختلط بالمواد الأخرى<br>- لابد من الشطف |
| الفينولات (مطهرات المستشفيات) | جيد جدا | جيد جدا | بدرجة حفيفة | لا | وفقا للتعليمات المدونة على العبوة | 10 | أثر متبقي | - لا مواد طيارة متبقية<br>- لابد من الشطف |
| محاليل الفورمالديهايد | جيد جدا | جيد جدا إلى جيد | نعم | لا | 4 ليتر/ليتر ماء | 30 | قطاع عريض من النشاط | - ضار على الإنسان<br>- لابد من إرتداء واقي للتنفس<br>- مهيج<br>- لابد من التهوية بعد المعاملة<br>- أبخرته سامة<br>- روائحه غير مرغوبة |

## التجفيف

يعتبر التجفيف هو الخطوة الأخيرة الهامة في عملية تنظيف مخازن التبريد. الهدف هو الحد من الرطوبة والتي تشكل البيئة المثالية لنمو الفطريات والأعفان المختلفة. إذا كانت المطهرات المستخدمة لا تتطلب عملية الشفط فإنه يمكن مباشرة إجراء عملية التجفيف وإلا فإنها تتبع عملية الشطف. عملية التجفيف تشتمل على التخلص من بقايا الماء وتجديد هواء المستودع بصورة جيدة. في حال ما كان الهواء الخارجي ساخن وجاف فيمكن دفعه مباشرة لمستودع التبريد. الحفاظ على درجة حرارة عالية ومحتوى رطوبي منخفض لهواء التجفيف يمكن أن يساهم كثيرا في الحد من نمو الفطريات، البكتريا، والأعفان في مستودعات التبريد.

## الفترات الزمنية ما بين عمليات التنظيف

من الهام جدا وبعد عملية التنظيف الحفاظ على نظافة المخازن والعمل على عدم إعادة تلوثها من خلال المنتجات الخام القادمة مباشرة من الحقل أو من خلال السماح لأى معدات حقلية بالدخول لغرف التبريد من حاويات الحقل أو الروافع الشوكية وغيرها من المعدات. الفترات الزمنية الفاصلة بين عمليات التنظيف تتوقف على نوعية عملية التخزين سواء كانت بعيدة أو قصيرة المدى.

## التخزين قصير المدى

أثناء عمليات التخزين قصير المدى مثل تخزين الفراولة والفاصوليا فإن عمليات التنظيف يجب أن تكون مستمرة. بما أن تلك المنتجات هى سريعة العطب فإنها تعمل على نمو الكائنات الحية الدقيقة من نوع Saprophytic. لتلك النوعية من المنتجات لايجب السماح بتراكم أى بقايا في مخزن التبريد حيث أنها تمثل مصدر دائم للتلوث والتي في حال عدم تلافيها تسبب خسائر إقتصادية كبيرة.

## التخزين طويل المدى

للتخزين طويل المدى مثل ما هو حادث للتفاح، البطاطس، التمور، الجزر فإنه يجب إجراء عملية التنظيف عقب إنتهاء الموسم وتفريغ المستودع من المنتج وذلك إستعداداً للموسم القادم. يجب أن تتم أيضا كافة عمليات التنظيف الأخرى قبل بدئ الموسم خاصة في حالة وجود تلوث نتج عنه خسائر للمنتجات المخزنة سابقا. يجب في تلك الحالة تحديد نوع التلوث ومصدره حتى تسهل عملية التنظيف بالمطهرات والمنظفات الملائمة. عملية التنظيف والتطهير تكون سهلة في حال تم تصميم وبناء المستودعات من مواد سهلة الغسل ومتوافقة مع عمليات التطهير. كما سيسهل أيضا في تلك الحالة إجراء عمليات التهوية حيث تكون شبكة المواسير والمراوح متوفرة بسعات مناسبة وفي أماكن جيدة لفاعلية تلك العملية. أيضا يشتمل التصميم على الحد من وجود أى جيوب أو زوايا حادة يمكن أن تتراكم فيها المياه. إن إجراء عمليات التنظيف وفقا لجدول زمني وبمعايير علمية سليمة وتطبيق يراعي كافة الإشتراطات وإحتياطات السلامة والآمان سوف يساهم كثيرا في الحد من الخسائر الإقتصادية التي تسبب الكثير من الفقد للمنتجات سريعة التلف ويساهم أيضا في الحفاظ على تلك المنشئات صالحة للأستخدام لفترات طويلة مما يزيد من عوائدها الإقتصادية.

### الخلاصة

عمليات تطهير وتنظيف مخازن تبريد الأغذية تشكل أحد المراحل الهامة للحفاظ علي جودة تلك المنتجات من الأمراض والتلوث ولتجنب ما قد ينتج عن هذا من أضرار إقتصادية وبيئية تؤثر في النهاية على ربحية وجدوى تلك المشاريع وتحد من الفاقد فيها. توجد إجراءات محددة يجب إتباعها لضمان فاعلية عمليات التطهير والتنظيف. كذلك توجد أنواع محددة من مواد التعقيم والتطهير ووفقا للأغذية المخزنة وأيضا وفقا لطبيعة عملية التخزين.

## الفصل الرابع عشر

# تطبيقات خاصة للبطاطس والتمور


### الملخص

التمور والبطاطس تعتبر من أهم المنتجات بالوطن العربي حيث يتم إستخدامها في مجالات واسعة سواء بغرض التصنيع أو للإستهلاك الطازج ولذا رأينا استخدام هذين المثالين لبيان بعض التطبيقات الخاصة. يجب تطبيق أفضل تقنيات خاصة بالحفظ المبرد للبطاطس والتمور بغرض الحد من فواقد ما بعد الحصاد حيث يعتبر التخزين في صناديق كبيرة من أفضل تلك الطرق. سيتم في هذا الفصل إستعراض الطرق المختلفة لتبريد المحصولين وطرق التداول الخاصة بهما في مخازن التبريد. أيضا سيتم إستعراض مميزات وحدات التبريد ذات الإرتكاز الإرضي والتي يمكن أن تستخدم لخزن قطاع واسع من المنتجات سريعة التلف وأيضا لعمليات التبريد السريع. تعقيم التمور من خلال التجميد يعتبر بديل جيد لبروميد الميثيل. لتطبيق هذه التقنية يجب تحديد الكثير من العوامل ومنها الزمن الأمثل للوصول لدرجة الحرارة النهائية حيث يتم إستبقاء التمور على تلك الدرجة لفترة زمنية محددة. يتم تحديد هذا الزمن بناء على مدى الحاجة لتصنيع التمور أو تخزينها لفترات طويلة الأمد. لتلك الطريقة العديد من المميزات ومن أهمها أنها غير سامة وآمنه ولا تتطلب أى إجراءات خاصة. تختلف السعات التبريدية وفقا لهذا الزمن.


### أولا : التخزين المبرد للبطاطس

خدمات التخزين المبرد للبطاطس (بمختلف صورها والتي تشمل بطاطس المائدة، التصنيع، والتقاوي) والبصل الجاف عادة ما تتطلب إعتبارات خاصة. البطاطس والبصل من الحاصلات متوسطة العطب غير أنها تختلف عن الحبوب في فترة صلاحيتها للتخزين والتي تقتصر فقط على بضعة شهور. يعمل التخزين المبرد على المحافظة على جودة البطاطس والخضروات الأخرى وتقليل الفاقد منها من خلال التداول والتخزين في ظروف ملائمة من حيث التبريد والتهوية الجيدة من أجل تنظيم عملية التسويق والحصول على عائدات مجزية. يمكن ومن خلال التصميم الملائم لتلك المخازن الوفاء بالإحتياجات التخزينية المتباينة وفقا لنوع المنتج وذلك من خلال درجات الحرارة ومستويات الرطوبة النسبية الملائمة ومعدلات التهوية. نظم التخزين الحديثة تضمن إستخدام صناديق كبيرة (Bin) والتي تتميز بزيادة السعة التشغيلية وسهولة عمليات المناولة، وسهولة إستخدام الرافعات الشوكية اللازمة للنقل والتفريغ.

يمكن إجمال الخصائص العامة لعملية تخزين البطاطس كما يلي:

1- يجب الإبقاء علي درنات البطاطس حيه أثناء عملية التخزين حيث:

- تتعرض دورة حياة البطاطس أثناء التخزين لتكسر نشوياتها والتي تعد العنصر الغذائي الأساسي بها.
- تحدث عملية التحلل الخاصة بالبطاطس بصورة أساسية بفعل أكسجين التنفس.
- يؤدي فقد الماء من البطاطس المصحوب بإنبعاث الحرارة وإنطلاق ثاني أكسيد الكربون لمجموعة من التفاعلات الكيمائية ذات التأثير التراكمي وغير المرغوب.
- في حالة بقاء الهواء المحيط ساكنا فإن الأكسجين يتم إستبداله بثاني أكسيد الكربون وتؤدي تلك الأجواء لظهور وتسريع عملية التزريع.
- تتباين درجات الحرارة اللازمة لتخزين كل نوع من أنواع البطاطس (مائدة، تصنيع، تقاوي) سواء بحالتها الطازجة أو المصنعة لأطول فترة ممكنة.
- توفير مستويات عالية من الرطوبة النسبية يعد أساسيا بالنسبة لإلتئام الجروح الخاصة بالبطاطس.

2- تستخدم التهوية في مخازن البطاطس والبصل بهدف التحكم في الأجواء المحيطه بالثمار وهي

- درجة حرارة الثمار.
- التزويد بالرطوبة والتحكم فيها.
- إزالة الماء الناتج بفعل تنفس الثمار.
- الإمداد بالأكسجين والتخلص من ثاني أكسيد الكربون.

3- الرطوبة النسبية العالية تقلل من الفقد في الوزن لكافة أنواع البطاطس ومن ثم الحفاظ على أفضل جودة ممكنة لفترة ما بعد التخزين.

4- يوضح جدول (1.14) الأجواء المطلوب توفيرها لتخزين البطاطس بمختلف أنواعها مقابل العمر التسويقي لها.

**جدول رقم (1.14)**:إحتياجات البطاطس من الحرارة والرطوبة النسبية.

| المحصول | درجة حرارة التخزين (م°) | الرطوبة النسبية % | فترة التخزين (شهر) |
|---|---|---|---|
| البطاطس (مائدة)<br>البطاطس (تقاوي)<br>البطاطس (تصنيع) | 5-4<br>4<br>13-10 | 95-90<br>95<br>95 | 8-5 |

5- الأسباب العامة لزيادة معدل الفقد في البطاطس أثناء تخزينها:

- إنتشار الأمراض.
- قلة صيانة معدات التبريد.
- الإصابات الميكانيكية بسبب سوء التداول.
- إرتفاع درجة الحرارة أثناء عملية الحصاد.
- الفقد في الوزن والجودة.
- إرتفاع درجة حرارة الهواء.
- نقص عملية الترطيب.
- التذبذب في معدلات التنفس.

6- عوامل نجاح تخزين البطاطس:

- فهم متطلبات المحصول البيولوجية.
- إعداد مخزن التبريد.
- تجهيز المحصول لعملية الخزن المبرد.
- الإدارة الجيدة للمحصول أثناء عملية الحصاد.
- الإدارة الجيدة للمحصول أثناء عملية الخزن المبرد.

7- يمكن تلخيص العوامل التي تؤثر على أجواء تخزين البطاطس فيما يلي:

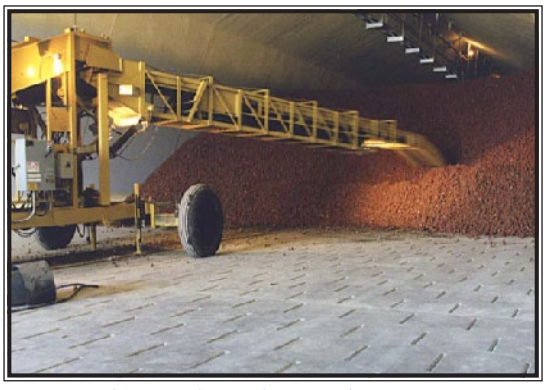
- تنفس الدرنات.
- إنتقال الحرارة خلال المبنى.
- نوع الدرنات وظروف إلتئام الجروح (العلاج لتجفيفي).
- الأمراض.

8- العوامل التي يجب التحقق منها قبل بدء عملية تخزين البطاطس:

- دقة وكفاءة أجهزة قياس درجة الحرارة.
- دقة وكفاءة أجهزة قياس الرطوبة.
- عمل نظم التحكم.
- صلاحية نظم المراقبة والمتابعة.
- كفاءة مراوح التهوية.
- سخانات لإذابة الصقيع الخاصة بالمبخرات.
- أداء وكفاءة نظم التبريد الميكانيكية.
- صلاحية وكفاءة نظم التهوية.
- كفاءة نظم الإضاءة.
- العمل على إصلاح أى عيوب في العزل الحراري.
- إعادة دهان العلامات الإرشادية في الأرضيات.
- إصلاح وتهيئة صناديق الخزن.

## الخيارات الفنية لنظم التخزين

يوجد العديد من أنظمة التخزين داخل غرف التبريد حيث تتباين التطبيقات وفقا للكثير من العوامل التي يجب تحديدها بعناية عند الإختيار ومنها الأبعاد، السعة الخاصة بالمخازن، وزن وحدة المنتج المزمع تداوله، طريقة التعبئة، وإرتفاعات الرص المسموحة، إضافة إلى ذلك المصدر الذي سيتم منه تفريغ وتحميل المنتج منه وإليه. توجد أيضا العديد من العوامل الأخرى لا ترتبط بالأبعاد مثل سرعة تحميل المنتج وتفريغه من وإلى غرف التبريد أو صالات التصنيع وإذا ما كانت طبيعة المنتج المخزن تتطلب سرعة الوصول إليه في أى وقت وهذا هو الحال بالنسبة لعملية تخزين أصناف معينة من المنتجات الزراعية وطبيعة الحاجة لتصنيعها على مدار العام.



**شكل (1.14)**: التخزين الصب لدرنات البطاطس.

أيضا تؤثر عمليات الإدارة والتحكم بالجودة المطلوبة على نظم التخزين. يعتبر تحقيق المتطلبات الفنية لعملية تخزين البطاطس (درجة الحرارة، نسبة الرطوبة، معدلات التهوية) وكفاءة الوصول لها من أهم المحددات الخاصة بإختيار نظام التبريد وفي هذا الإطار توجد عدة إختيارات فنية خاصة بنظم تخزين البطاطس والتي تشتمل على ما يلي:

## أولا: التصنيف وفقا لطريقة خزن وتداول الدرنات

**1- التخزين السائب أو الصب** (Bulk)

تم شرح هذا الخيار تفصيليا في الفصل الحادي عشر وهو مبين بشكل (1.14).

**1.1. التخزين في طبليات معدنية**

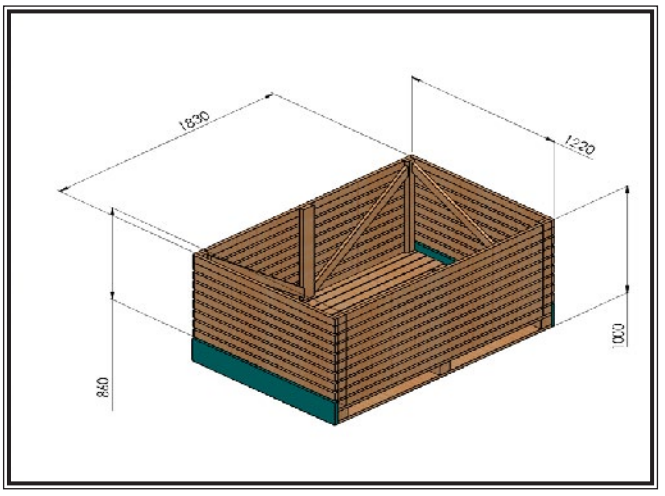
أثبتت الأبحاث العلمية أن التخزين بإستخدام الطبليات المعدنية (شكل 2.14) يعتبر من أسوأ عمليات التخزين حيث يتم تعبئة البطاطس في أكياس بلاستيكية تؤدي لصعوبة عملية التهوية

**شكل (2.14)**: التخزين في أكياس وطبليات معدنية.

وإنتقال الحرارة. سبق التعرض تفصيليا لتلك الطريقة في الفصل الحادي عشر.

### 2.1. التخزين في صناديق كبيرة Bins

تبلغ أبعاد تلك الصناديق الكبيرة (Bins) 1.83م (عرض)، 1.22م (عمق)، 1م (إرتفاع) وفقا لشكل (3.14). تحتوي تلك الصناديق الخشبية على فتحات سفلية خاصة بالرافعة الشوكية وعلى فتحات تهوية جانبية ملائمة شكل (4.14). يمكن إجمال مميزات إستخدام تلك الطريقة في تخزين البطاطس كما يلي:




**شكل (3.14)**: الصناديق خشبية (Bin) لتخزين البطاطس (الأبعاد بالمم).

- يمكن تخزين العديد من الأصناف داخل الغرفة الواحدة.
- يمكن متابعة جودة الثمار المخزنة بصورة دورية من خلال أخذ العينات حيث يمكن الوصول لأى صندوق بسهولة.
- تخزين البطاطس في صناديق يحد من خطوات التداول ومن ثم يقلل من الإصابات الميكانيكية والتي تؤدي لنسب فقد عالية.
- يقتصر الأمر فقط ولتداول المنتج على إستخدام الرافعات الشوكية ولا يتطلب الأمر أى وسائل نقل إضافية.
- نظم التهوية الملائمة هي النظم الجانبية وهي منخفضة التكلفة بالمقارنة مع التهوية الأرضية المطلوبة في نظام الصب.
- سهولة المحافظة على الإجراءات الصحية من حيث نظافة المخازن.
- يعد الأنسب لمشاريع خزن البطاطس والأكثر شيوعا في الدول الغربية.
- نسبة إشغال عالية لغرف التبريد مما يزيد من كفاءة مشاريع التبريد.
- العمر الإفتراضي لتلك الصناديق يبلغ عشرة أعوام بشرط صيانتها بصورة جيدة.
- الخشب المستخدم معالج ضد إمتصاص الرطوبة والحشرات.
- تخزن تقاوي البطاطس في صناديق وبصورة منفصلة.
- يمكن للرافعات الشوكية حمل صندوقين في ذات الوقت.

## ثانيا: التصنيف وفقا لطريقة التهوية

### 1- التهوية الجانبية

تتم من خلال نظم التبريد بوحدات التبخير المعلقة Evaporators وهو النظام الشائع بالدول العربية (شكل 5.14) ويكون نظام التبريد المستخدم إما نظام مركزي أو فردي وفقا لحجم المشروع حيث تستخدم مع هذا النظام نظم ترطيب Humidifiers إضافية نظرا لما تتطلبه ظروف التخزين من نسب رطوبة عالية للحد من الفقد في الوزن. تلك الطريقة تستدعي وجود ترتيبات منفصلة لعملية التهوية والتي غالبا ما تكون جانبية ومن خلال ما يسمى بالحوائط الكاذبة (Plenum or false wall) وكذلك لعملية الترطيب بالإضافة لنظام التبريد الميكانيكي مما يؤدي لتعقيدات في عمليات التركيب والتحكم نظرا لمتطلبات الأعمال المدنية الإضافية المطلوبة ويؤدي أيضا لزيادة تكلفة المشروع، كما سبق إيضاحه.

**شكل (4.14)**: تخزين البطاطس في صناديق خشبية (Bin).

**شكل (5.14)**: المبخرات السقفية ونظم التهوية الجانبية.

**2- التهوية الأرضية**

**شكل (6.14)**: التخزين الصب وتخزين الصناديق بنظم التهوية الأرضية.

وهي الشائعة مع نظم تخزين البطاطس في كندا والولايات المتحدة الأمريكية (شكل 6.14) والتي تعتمد على وجود غرفة للترطيب (Humid cell) حيث يتم فيها معالجة الهواء وذلك قبل دفعة لصبة البطاطس سفليا من خلال فتحات أرضية وذلك للتهيئة من حيث درجة الحرارة والرطوبة ونسبة ثاني أكسيد الكربون. يتضح من الصورة أدناه ضخامة كلفة الأعمال المدنية المطلوبة لتلك الطريقة.

**3- الوحدات المدمجة**

هي نظم التبريد ذات وحدات الإرتكاز الأرضي (Floor mounted units). في تلك النظم يتم إرتكاز وحدات التبخير على أرضية المخزن وغالبا ما تكون مصحوبة بوحدات التكثيف ذات التمدد المباشر أو بالنظام الثانوي (شكل 7.14 و8.14) والتي تركب معها بصورة مباشرة حيث وفي حال توفر الغرفة المعزولة يمكن تركيب هذا النظام وتشغيله في وقت وجيز. تحتوي الوحدات على نظام لتدوير الهواء أو التهوية من خلال أنابيب رأسية في حين سحب الهواء من الطبقات السفلية ومن ثم دفعه لأعلى الغرفة ليتم تدويره مرة أخرى. هذا النظام لا يتطلب إنشاء غرف تهوية لتدوير الهواء حيث يتم تبريد، تدوير، ترطيب، تجديد الهواء في نفس العملية. يتميز هذا النظام بالكفاءة العالية في حال تم تصميمه بصورة ملائمة تراعي كافة المتطلبات الخاصة بعملية التخزين. النظام يتميز بمرونة عالية حيث يمكن تطبيقه مع كل من التخزين الصب وفي صناديق. من المميزات الهامة لهذا النظام سهولة نقله من مكان لأخر وذلك في حال إستخدامه لوحدات التكثيف التي تعمل بالتمدد المباشر الفردية. أيضا لا يتطلب هذا النظام تعليق المبخرات في أسقف الغرف ومن ثم تثبيتها في الهيكل المعدني ولذا تكون الهياكل المعدنية المرغوبة هياكل عادية وليست من النوع المفصل خصيصاً أو ما يعرف Pre-Engineered. يمكن أن يكون نظام التبريد المرفق نظام تمدد مباشر أو نظام الماء المبرد وذلك وفقا لإقتصاديات وجدوى تلك الإختيارات.

مميزات تلك النظام يمكن إجمالها فيما يلي:

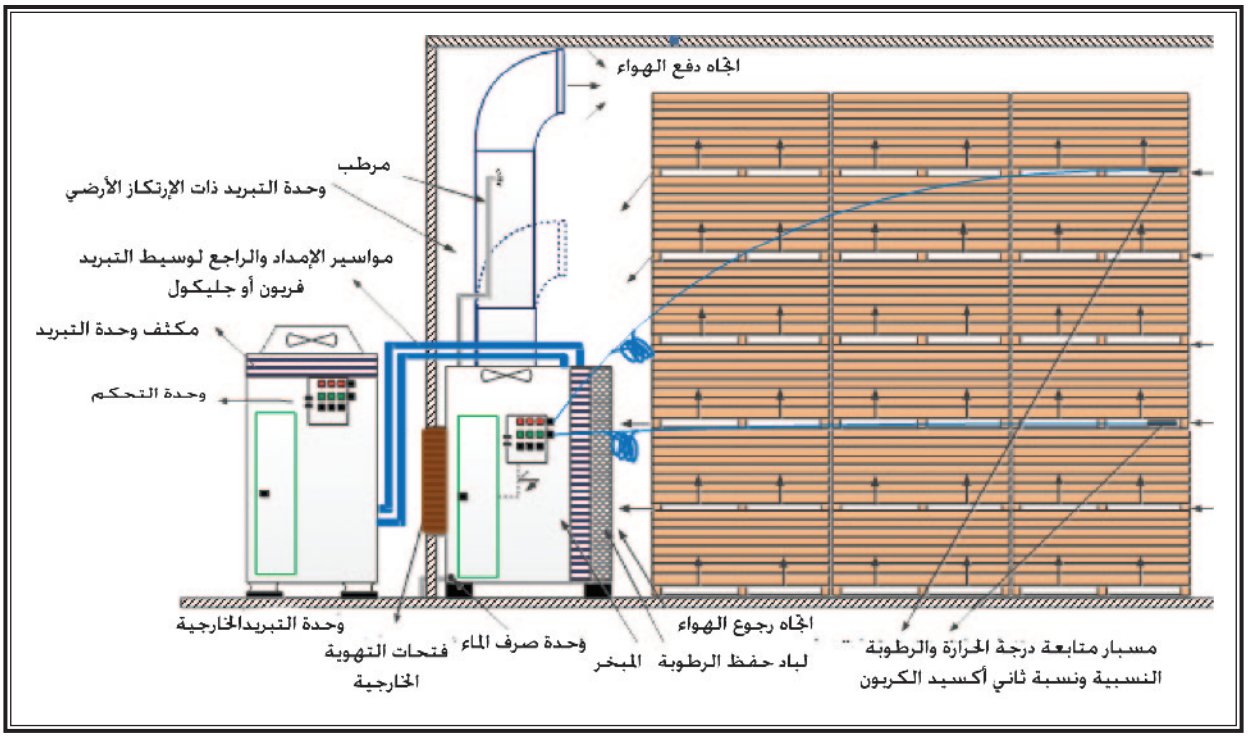
- لا تحتاج لأى أعمال مدنية إضافية سواء على جوانب مخزن التبريد أو في أرضيته وذلك لإنجاز عملية التهوية.
- لا تحتاج لأى تصميمات أو متطلبات خاصة في الهيكل المعدني الخاص بغرف التبريد وذلك لتعليق المبخرات.

**شكل (7.14)**: وحدات التبريد ذات الإرتكاز الأرضي.

- سرعة عملية التركيب والتي لا تتطلب أى تجهيزات أو عمالة خاصة.
- لا تتطلب تقريبا أى عملية صيانة خاصة.
- يمكن تصميمها للعمل بكل من نظام التمدد المباشر أو المركزي أو بنظام الجليكول (الماء بالبارد Chiller).
- تناسب كافة الحاصلات الزراعية سريعة التلف بالإضافة للبطاطس والبصل، الفاكهة ذات النواة الحجرية والعنب.
- يمكنها العمل برطوبة عالية في حال إحكام عزل وغلق غرفة التبريد.
- تناسب تخزين البصل ببعض الإضافات الطفيفة للتحكم في مستوى منخفض من الرطوبة النسبية.
- تحقق كافة متطلبات الجودة اللازمة لحفظ البصل والبطاطس لفترات طويلة.
- متاحة حيث يمكن الحصول عليها وفي مدى كبير من السعات التبريدية.
- إقتصادية من حيث إستهلاك الطاقة ومن حيث التكاليف الإستثمارية.

أيضا يجب مراعاة الإستواء الكامل لأرضية المخزن وذلك حتى نضمن إستقرار الصناديق بالإرتفاعات المطلوبة عند إستخدام تلك الوحدات. يجب أن تكون المياه المستخدمة للترطيب معالجه علاوة على تواجد فتحة للتصريف بأرضية غرفة التبريد. توجود فتحة صرف بتلك الوحدات حيث تربط بنظام صرف المشروع أو يمكن إعادة إستخدامها مرة أخرى.

نظم التحكم بتلك الوحدات تتباين وفقا لحجم رأس المال الممكن إستثماره. للنظم التي تعتمد على التحكم الإليكتروني الكامل توضع حساسات لقياس درجة الحرارة والرطوبة ونسبة ثاني أكسيد الكربون حيث يمكن من خلال تلك البيانات التحكم في مستوى دفع الهواء من مرواح الوحدة ذات الضاغط الإستاتيكي العالي وذلك من خلال مغيرات السرعة بالوحدة. أيضا ومن خلال معرفة تركيز نسبة ثاني أكسيد الكربون يتم التحكم في فتحات التهوية والتي عادة ما يتم تشغيلها في أبرد ساعات الليل حيث لا يتم دفع الهواء لحيز الغرف إلا بعد ترطيبة وخفض درجة حرارته.




**شكل (8.14)**: تفاصيل وحدات التبريد ذات الأرتكاز الأرضي وعملية التحكم بها والتي تعمل بخليط الماء والجليكول أو الفريون (تمدد مباشر).

يمكن ومن خلال وسائل التحكم والمتابعة السابق شرحها أن يوفر هذا النظام الظروف الملائمة لكافة أنواع البطاطس والتي تتطلب فقط معدلات دفع هواء ودرجة حرارة تتباين من نوع لأخر. أيضا ومن خلال تركيب بعض السخانات الإضافية لذات الوحدات يمكن إستخدامها لتخزين البصل والذي يتطلب مستويات رطوبة أدنى من تلك المطلوبة للبطاطس. معدات التحكم والمتابعة السابقة وفي حال توفر السعات التبريدية الملائمة تُمكن تلك الوحدات من العمل كوحدات تبريد سريعة أو لمخازن تبريد المنتجات سريعة التلف مثل الفراولة والعنب وغيرها. في بعض الأحيان وحينما تسمح درجة حرارة الأجواء الخارجية وخاصة في فصل الشتاء تعمل تلك الوحدات على إستخدام الهواء الخارجي لتبريد البطاطس. تجهز الوحدات بحساسات لقياس درجة حرارة الهواء الخارجي حيث يتم دفع الهواء من الخارج وترطيبة في حال لزم الأمر ومن ثم دفعه خلال صناديق المنتج. يمكن أيضا ومن خلال بيانات الأرصاد الجوية التنبؤ بذلك ومن ثم تقوم الوحدة بإتخاذ القرار الأكثر إقتصادية من حيث تشغيل نظام التبريد الميكانيكي أو الإستعانة بالهواء الخارجي وذلك وفقا لعدد من العوامل منها سعر الطاقة، نوعية المنتج، الغرض من التخزين، ومرحلته الحالية (علاج تجفيفي، تهيئة تقاوي للزراعة، تهيئة بطاطس للتصنيع..إلخ).

**ثالثا: تعقيم التمور**

تعتبر ثمار نخيل البلح من الثمار غير الكلايمكتيرية والتي تتميز بمعدل تنفس منخفض جداً حيث تتنفس الثمار عند 5 °م بمعدل يقل عن 5 ملجم ك أ$_2$/كجم/ساعة وبالتالي يكون معدل تدهور الجودة والفساد منخفضاً، أى أن للثمار قدرة تخزينية عالية وتزداد هذه القدرة للثمار التي تحتوي على نسبة منخفضة من الرطوبة (التمور الجافة ونصف الجافة) كما أن ثمار نخيل البلح غير حساسة لأضرار البرودة وبالتالي يمكن تخزينها عند درجة حرارة الصفر المئوي أو ما دون ذلك دون حدوث أضرار فسيولوجية للثمار. نقطة تجمد الثمار تبدئ عند -15.7°م نظرا لمحتواها السكري العالي.

تعتبر الإصابات المرضية والحشرية أحد أهم عوامل تدهور تلك الثمار بعد حصادها، خاصة عند إرتفاع نسبة التجريح الميكانيكي،عدم التطهير،تجاهل عملية التبريد السريع،عدم العناية بالتخزين المبرد، أو الإصابة الحشرية ( مثل الخنفساء المنشارية)

نتيجة إنتقالها للمخازن أو إختلاطها بتمور مصابة. هذا بالإضافة إلى ظروف التخزين المؤثرة على جودة المنتج مثل درجة الحرارة والرطوبة النسبية والضوء ونحوها.

تعقيم التمور يهدف إلى قتل الحشرات في كافة أطوار حياتها (البيضة، اليرقة، العذراء، الحشرة الكاملة)، وكذلك الآفات الأخرى التي قد تصيب التمور وهي على النخلة، عند سقوطها على الأرض، أو أثناء تخزينها في أماكن غير مناسبة قبل ورودها للمصنع. عادة ما تتم عملية التعقيم في أماكن خاصة محكمة الغلق بإشراف مختصين ذوي إلمام جيد بعملية التعقيم وذلك لمنع الأخطار الناجمة عن الجهل بطرق إستخدامها وذلك في حال تطبيق الطرق التقليدية لتعقيم التمور بغاز بروميد الميثيل. من مميزات غاز بروميد الميثيل المستعمل في تعقيم التمور وغيره من الغازات المعقمة:

1. فعالة في قتل الحشرات في جميع أطوار حياتها.
2. لا تتفاعل كيماويا مع مكونات التمر ولا تُكسبها رائحة أو طعم.
3. سامة للإنسان فقط في حال تطايرها.
4. غير قابلة للإنفجار.
5. سريعة التعقيم وقابلة للإنتشار وتنفذ في التمر بكفاءة.

نظرا لتحريم بروميد الميثيل يجب العمل على إستخدام بدائل له حيث تشير الأبحاث لوجود العديد من البدائل مثل:

- مواد مشابهه لمفعول بروميد الميثيل مثل مركب الفوسفين الذي يناسب مخازن التبريد محكمة الغلق لكنه سام ويحتاج إلى عدة أيام للمعالجة الفعالة وغير موصى به.
- أنواع من الأشعة (جاما، إكترون، سينية ) ولقد بدأ حديثاً تشغيل أول منشأة تجارية للتشعيع بإستخدام أشعة جاما في الرياض بالمملكة العربية السعودية.
- أشعة الميكروويف، والتي ثبت جدواها في قتل الآفات الحشرية بأنواعها المختلفة سواء المعالجة على دفعات أو تلك المتواصلة.
- التحكم في نسب غازات المخازن أو العبوات (إحلال النيتروجين أو ثاني أكسيد الكربون بنسب عالية جدا) وهو ما يطلق عليه الجو الهوائي المعدل (Modified Atmosphere).
- المعاملة بالأوزون.
- نظم الأكسجين المتدنية (Ultra LowOxygen, ULO)
- الحفظ على درجة حرارة منخفضة (التجميد على -18ºم).

وتتوقف العوامل المؤثرة في كفاءة تعقيم التمور خلال إستخدام تقنية معينة على:

1. **تركيز مادة التعقيم أو معدلات الإنخفاض في درجة الحرارة:** كلما زادت مادة التعقيم من حيث الكمية والتركيز كلما زادت سرعة معدل قتل الحشرات وكذلك كلما زاد معدل الخفض في درجة الحرارة (معدل التجميد).
2. **الوقت:**كلما طال وقت تعريض الحشرات لمادة التعقيم زادت نسبة ما يموت منها وكذلك كلما زادت فترة التعرض لدرجات الحرارة المنخفضة بحيث يتم التأكد من بلوغ قلب الثمرة لدرجة حرارة التجمد (-18ºم) وإستبقائها عليها فترات كافية.
3. **درجة الحرارة:** كلما إرتفعت درجة الحرارة بالنسبة للتعقيم بالغازات زادت سرعة معدل قتل الحشرات والعكس في حال إستخدام تقنية التجميد -18ºم.

فيما يتعلق بتقنية التشعيع فبالإضافة للإستثمارات الباهظة لتلك التقنية وعلامات الإستفهام الخاصة بقبول المستهلك لها وإجراءات تشغيلها المعقدة فقد أثبتت الأبحاث تأثر جودة أصناف عديدة بتلك المعاملة وتأثيرها المحدود على الفلورا الميكروبية لأصناف مثل البرحي بالتركيزات القليلة المستخدمة لقتل الحشرات بل عملت على تدهور جودة بعض الثمار أثناء فترات التخزين وقصّرت من

العمر التسويقي وفترة صلاحية التمور أثناء التسويق وانخفض أيضا تركيز الفركتوز والجلوكوز بعد التشعيع حيث تفاوتت هذه التغيرات وفقا لدرجة حرارة التخزين بعد التشعيع. وقد خلصت الدراسات لعدم جدوى المعاملة بالتشعيع في حالة صنفي البرحي والسكري وأقتصرت جدوى تلك التقنية فقط على صنف الخلاص. تم حساب الجدوى على أساس معاملة كميات تراوحت بين 30,000 -73,000 ألف طن سنويا وهي كميات غير واقعية لمثل تلك الأصناف.

فيما يتعلق بتقنية نظم الأوكسجين المتدنية (Ultra LowOxygen, ULO) فتحتاج تلك التقنية إلى معلومات فنية دقيقة خاصة بنوعية الحشرات المراد التخلص منها، كمياتها، فترة موتها، فترة نضجها، وكيفية تعبئتها سواء بالنسبة لتقييم عملية التعقيم ذاتها بعد تطبيقها (كتقييم علمي يدل على نجاح التوصية وجدواها) أو في المحددات الخاصة بتوصيف تلك المعدات وجميع ما سبق غير متاح لغالبية أصناف التمور وذلك للتوصية بتبني تلك التقنية أم لا، علاوة على التكلفة الباهظة للمعدات المستخدمة وتكلفة الصيانة وإجراءات التشـغيل المعقدة. أيضا هناك أخطار خاصة بتلك الطريقة ويتطلب الأمر تبني منظومة محكمة للعلاج أو للوقاية. أيضا أحد جوانب القصور في تلك التقنية هو الدقة العالية المطلوبة للحفاظ على نسبة الأكسجين المطلوبة ومن ثم العدد الكبير للحساسات التي يجب أن ترافق النظام لقياس نسبة تركيز الغازات بالداخل وهي نسبة غاية في الدقة حيث تبلغ 0.1- 0.4 % وذلك بهدف أن يكون هذا النظام فعال. غير معروف حتى الآن بالنسبة للتمور مدى التأثير الجانبي على الثمار المخزنة بإستخدام تلك التقنية حيث أنها من المفترض تواجدها في تلك الأجواء لفترة أسبوع وذلك من حيث النسيج والنكهة واللون والطعم وغيرها من معايير الجودة الشكلية والحسية. أيضا تلك التقنية تتطلب الحفاظ على نسبة رطوبة محددة جدا وهي 75 % ومن ثم يتطلب الأمر وجود Dehumidification system وهو ما يضيف لتكلفتها.

تتطلب تلك التقنية أن تكون غرف التبريد محكمة الغلق حيث أن أى تسريب مهما صغر سيفقدها الفاعلية، إحكام الغلق يتطلب تجهيزات وأبواب خاصة. أيضا تتطلب تلك التقنية عمليات معايرة دقيقة يتوقف عليها نجاح عملية التعقيم وتتطلب التعامل مع Microprocessor ومعدات قياس أخرى متعددة.

فيما يتعلق بالأوزون فقد تم إستخدامه كبديل لبروميد الميثيل ولكن على منتجات أخرى ليس من بينها التمور حيث تنقسم عملية إستخدامه ليخلط بالماء أو الهواء وقد أوضحت التجارب قصور تحكمه في ذبابة الفاكهة التي تصيب التفاح وغيره من أنواع الفاكهة الأخرى رغم كون الإصابات هنا سطحية وأيضا لم ينجح في وقف التدهور بفعل تلك الإصابات رغم تجربة عدة أزمنة (وصلت إلى خمسة شهور) تعرض بتركيزات مختلفة (بلغت 3.25 جزء في المليون). لوحظ حدوث إصابات غير مرغوبة في الثمار بفعل تلك المعاملة وكان التفسير لتلك التغيرات والإصابات غير المرغوبة هو عدم إستخدام هواء جاف لمولدات الأوزون مما ينتج عنه أنواع أخرى من الغازات تسبب تلك التغيرات غير المرغوبة في الثمار. من النقاط الأساسية التي تعد معيقة لتطبيق تلك التقنية مع العديد من الثمار ومنها التمورهي قدرة الأوزون على إختراق الثمار للوصول للتجاويف الداخلية ومن ثم التأثير على الآفات وغيرها من الحشرات والتي تتواجد بصورة أساسية داخل الثمار ومن ثم تتوفر لها حماية بفعل تلك التجاويف الداخلية. أيضا تشكل مواد التغليف والتعبئة عائق أخر يحول دون وصول الأوزون بالنسب المطلوبة لتلك التجاويف.

**المعاملة بالتجميد بغرض تعقيم التمور**

مما سبق يتضح أن الكثير من التقنيات السابقة يحتاج إلى إستثمارات عاليه ولا يزال الكثير منها في طور البحث والتطوير بهدف الوصول لآليات محددة يمكن تبنيها على نطاق تجاري غير أن المعاملة بالتجميد (Freezing Treatment) هي من أفضل تلك الطرق والتي تم تجريبها بصورة فعلية مع التمور .

تضمن هذه الطريقة حفظ للتمور لمدة طويلة على درجة حرارة التجميد -18ºم والتي تعد جيدة من حيث إستهلاك الطاقة حيث لا يتطلب الأمر إزالة أحمال تبريدية عالية نظرا لإمكانية سحب الحمل الحراري على مدار فترات تبلغ خمسة أو ستة أيام، عقب وصول قلب الثمار لدرجة الحرارة المرغوبة (-18ºم) ينخفض الحمل الحراري المرغوب التخلص منه لأدنى حد ممكن.

يجب في حال تطبيق هذه الطريقة الإختيار الصحيح لتقنية التجميد بهدف الوصول بأسرع وقت ممكن لدرجات الحرارة التي يتم عندها قتل الآفات في كل مراحلها وفي نفس الوقت يتم تفادي أى ضرر للثمار المعاملة. من المعرف أن جميع المواد الغذائية ومن بينها التمور تعتبر رديئة التوصيل للحرارة ومن ثم يتطلب الأمر حساب طاقة التبريد اللازمة من خلال تقدير كافة الأحمال الحرارية ومن ثم إختيار المعدات الملائمة بصورة دقيقة.

توفر التمور حماية للكثير من الآفات بداخل تجاويفها لذا يلعب زمن تعرضها لتلك المعاملة دورا هاما في فاعلية تلك التقنية وكذلك معدل الإنخفاض في درجة الحرارة. تمتاز هذه الطريقة أيضا بأنها تتيح تخزين التمور لفترات طويلة مع الحفاظ على عمرها التسويقي بصورة جيدة وإمكانية تداولها وتصنيعها بصورة طبيعية دون تجمدها. يجدر الإشارة إلى أن درجة بدء التجمد للتمور هي تقريبا من -18 إلى -20ºم ومن ثم لا يؤدي نطاق درجات الحرارة المستخدم لتجمد التمور بغرض تعقيمها لتجمدها بصورة كلية أو فعلية لكنه يؤدي لتصلبها بصورة جزيئه وذلك نظرا لإحتوائها على نسبة عالية من السكر وتؤدي لما يعرف Freezing point depression إي إنخفاض درجة تجمدها. بناء عليه وفي حال إعادة التمور بغرض التصنيع أو التسويق وما يتبعه من رفع درجة حرارتها فلا يحدث إعادة ذوبان للنسيج اللحمي للثمار وما يستتبعه من تحولات لا تكون مرغوبة. عملية الوصول للثمار أثناء إجراء تلك المعاملة سهل وآمن ولا توجد به أى مخاطر علاوة على سهولة عمليات التشغيل والتحكم ومتابعة الأداء دون أى تعقيدات.

زمن الوصول لدرجة الحرارية المرغوبة (Pull down time) يعتبر من أهم العوامل المحددة لطبيعة عملية تخزين التمور بغرض تعقيمها حيث أنه وفي حال التخزين بعيد المدى على درجة حرارة -18 إلى -20ºم فيمكن الوصول لتلك الدرجة في زمن أسبوع حيث يعمل هذا على تخفيف السعات التبريدية مع إمكانية إتاحة السعات التبريدية الفائضة لحمولات جديدة عقب تحقيق الدرجة المرغوبة لحمولة معينة سبق تحميلها حيث يعرف هذا بمعامل Diversity factor. بالنظر لطبيعة التمور وكونها غير سريعة العطب نظرا لمحتوها السكري العالي فإن فترة الأسبوع تعتبر مقاربة جيدة لتحديد السعات التبريدية. في حال ما كان المطلوب إنجاز عملية التعقيم بسرعة عالية تمهيدا لعملية التصنيع حيث عادة ما يكون ذلك في بدئ الموسم وللأصناف ذات القيمة النقدية العالية أو بغرض التصدير فإن زمن الوصول لدرجة الحرارة يجب أن يكون في حدود 6 إلى 8 ساعات مما يعني تصنيف تلك العملية بأنها تجميد فائق السرعة للثمار الفردية (Individual Quick Freezing, IQF). السعات التبريدية في تلك الحالة تكون كبيرة ومكلفة لذا يجب الموائمة بعناية ما بين الخياريين السابقيين للوصول لأفضل الظروف المطلوب توفرها. بناءً على ماسبق يجب أن يراعى ما يلي:

- مدى الحاجة لعملية التصنيع والتعبئة.
- درجة إصابة الثمار ومدى الحاجة للتعقيم.
- صنف ونوع التمور.
- درجة النضج المحصود عليها.
- معاملات ما بعد الحصاد المطلوب إجرائها.
- الخطة التسويقية لذلك النوع من حيث الأسواق المطلوب الوصول لها وتوقيت التسويق.
- مدى توفر سلسلة التبريد من حيث النقل المبرد وبقية عناصر السلسلة.
- أطول عمر تسويقي مطلوب الحفاظ عليه.

عقب عملية التعقيم يعتبر التخزين المجمد من أهم الطرق والوسائل لحفظ التمور على مدار العام أو لتوزيعها في الأسواق المحلية والمحلات التجارية أو تصديرها. يستخدم هذه الطريقة أصحاب مصانع تعبئة التمور وأصحاب مستودعات التبريد إذ أن التمور المخزنة على درجة حرارة منخفضة تظل محافظة على اللون،الطعم، وسليمة من الإصابات الفطرية والحشرية. يعد صنف السكري، البرحي، الخلاص، رشوديه، شقراء، ونبتة علي وغيرها أهم الأصناف التي يتم إنتاجها وتخزينهاحيث أنها مرغوبة وتؤكل

في مراحل نضج معينة وتعد من أجود الأصناف المرغوبة في أقطار مختلفة خاصة دول الخليج. تختلف درجة الحرارة المستخدمة في التخزين وكذلك درجات الرطوبة النسبية بإختلاف الأصناف وطور نضجها ونسب الرطوبة بها، فالتمور الطرية ذات المستوى المرتفع نسبيا من السكر المختزل تخزن على درجة أقل من الصفر المئوي منعا لظهور البقع السكرية فيها. أما الأصناف النصف جافة فيتم تخزينها على درجة الصفر المئوي وتتوقف درجة الحرارة على حسب محتوى الصنف من الرطوبة وعلى طول مدة التخزين.

## متطلبات إستخدام تقنية تعقيم التمور بالتجميد

1- وجود مساحات مبردة ومعزولة وذات تصميم مناسب من حيث السعة التبريدية وكمية وطريقة دفع الهواء.
2- أجهزة قياس وتحكم بهدف التأكد من تحقيق درجات الحرارة المرغوبة داخل الثمار.
3- المعرفة والتدريب للكوادر الفنية القائمة على عملية التشغيل.

## مميزات تقنية تعقيم التمور بالتجميد

1- لا يتم فيها إستخدام أى مواد كيمائية ومن ثم تناسب الإنتاج العضوي والتقليدي.
2- ذات إنتاجية عالية وذلك في حال التصميم الجيد.
3- سهلة التشغيل والصيانة حيث أن المعدات المستخدمة لا تحتوي على أى تقنيات خاصة.
4- إمكانية إستخدام ذات الغرف لسائر عمليات التخزين المجمد الأخرى.

## الخلاصة

لعملية تخزين البطاطس عدة طرق غير أن التخزين في صناديق كبيرة ومن خلال وحدات التبريد ذات الإرتكاز الأرضي يقدم الكثير من المميزات مقارنة بالطرق الأخرى حيث لا يتطلب وجود هيكل معدني ويُسّهل من عملية التداول ويحافظ على الإشتراطات الصحية بالإضافة لطول عمر تلك الصناديق والذي يصل لعشرة أعوام. تلك الطريقة أيضا تُحسن من جودة المنتج نظرا لقلة الإصابات الميكانيكية التي تتعرض لها. بإستخدام وحدات التبريد المدمجة وذات الإرتكاز الإرضي ومن خلال تجهيزها بمعدات المتابعة والتحكم في درجة الحرارة والرطوبة ونسبة ثاني أكسيد الكربون فإنها توفر أنسب الأجواء لكافة أنواع بطاطس التصنيع، التقاوي، والمائدة. يمكن لتلك الوحدات أن تلائم ظروف تخزين نطاق واسع من المنتجات سريعة التلف أيضا. تعقيم التمور من خلال تقنية التجميد يعتبر من أفضل الإختيارات مقارنة بالنظم الأخرى. لتطبيق هذه التقنية يجب تحديد بعض المتطلبات الهامة ومنها الفترة الأمثل للنزول بدرجة الحرارة المطلوبة ومن ثم فترة الإستبقاء اللازمة. طريقة التعقيم بالتجميد غير معقدة ولا تستخدم فيها أى مواد كيمائية و تستخدم نفس الغرف لحفظ المنتج عقب الوصول لدرجة الحرارة المرغوبة.

## الفصل الخامس عشر

# إقتصاديات مشاريع التخزين المبرد للحاصلات البستانية


### الملخص

تعتبر إقتصاديات مشاريع التبريد ودراسات الجدوى الخاصة بها الخطوة الأولى الواجب إتباعها قبل تنفيذ تلك المشاريع بغرض تحديد مدى الربحية وفقا للغرض من إنشائها ولتقدير العائد المتوقع وفترة إسترداد رأس المال. تنقسم تلك الدراسات لثلاثة أجزاء وهي الدراسة التسويقية، الفنية، ومن ثم الدراسة المالية. مخرجات الدراسة توضح الفرص الإستثمارية وفقا لمسوحات تسويقية وإستبيانات يتم تصميمها بغرض الوصول لأفضل التقنيات وطرق التشغيل الواجب إعتمادها بناءا على عدد من المتغيرات سيتم التعرض لها تفصيليا. تعتبر عملية تقييم عروض الأسعار من العمليات الهامة والتي تحتاج لمهارات فنية بغرض المقارنة الدقيقة وفقا للعديد من العوامل منها إستهلاك الطاقة، عمليات الصيانة المطلوبة، بقية عناصر التكلفة الإستثمارية والتشغيلية، ومدى مصداقية النظام بغرض إختيار أفضل الأنظمة سعريا وفنيا.


### مقدمة

لإنشاء مستودع تبريد خاص بالحاصلات البستانية يجب بداية وضع خطة عمل يكون الغرض الرئيسي منها هو جمع المعلومات اللازمة لإتخاذ قرار مستنير حول جدوى المشروع لأى من عناصر سلسلة التبريد الخاصة بالحاصلات سريعة التلف حيث يجب توفير العديد من الأجوبة على سلسلة من الأسئلة:

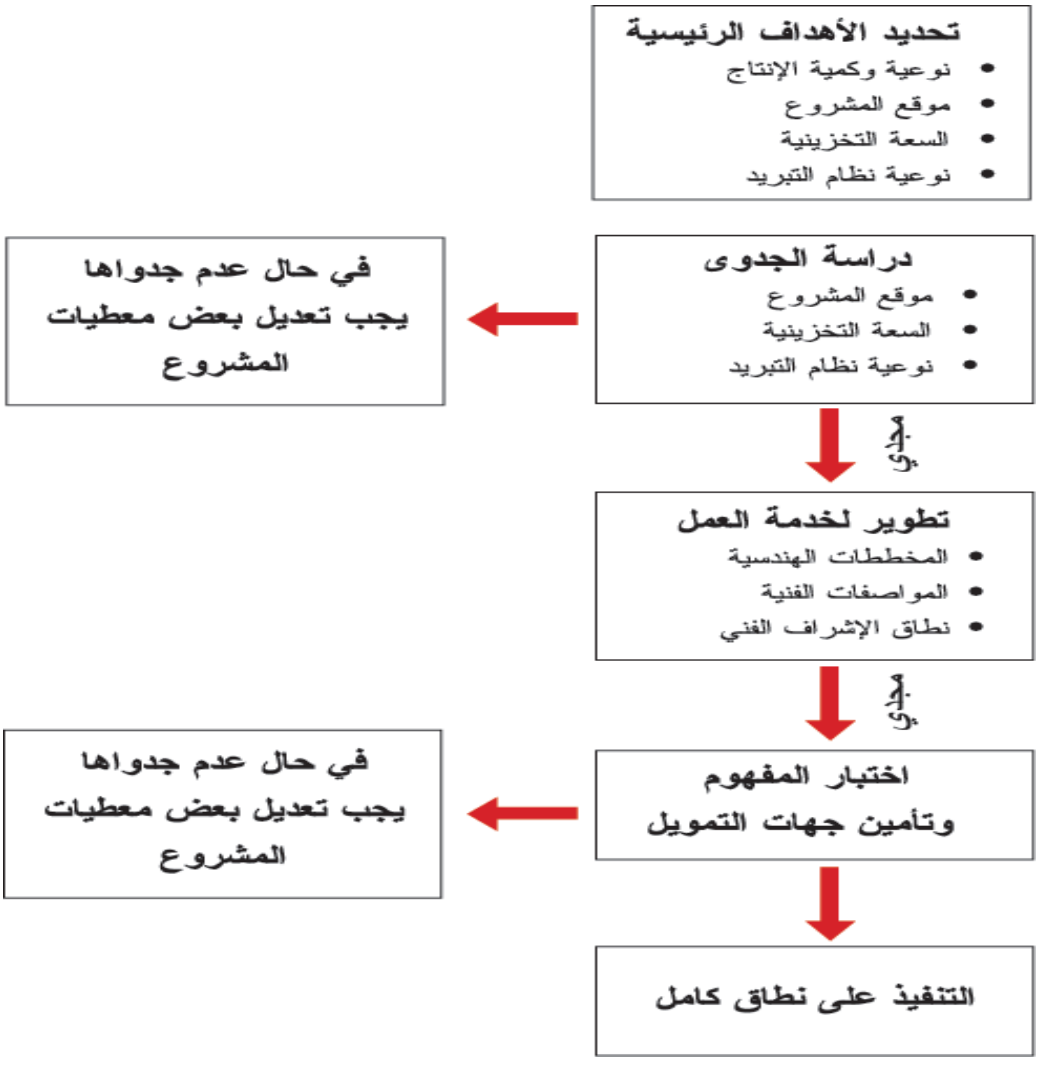
- النوعية المرغوب إنشائها ومدى الحاجة إليها (خزن مبرد، تبريد سريع، أم كليهما)؟
- أنسب السعات التخزينية المستهدفة؟
- زمن دورة عمليات التبريد السريع؟
- نوع عملية التبريد السريع؟
- خريطة زمنية لكافة الأصناف المزمع التعامل معها طوال العام؟
- نسبة الإشغال المتوقعة على مدار العام؟
- كفاءة إستخدام المساحات الأرضية والفراغات الداخلية لمخازن التبريد؟
- السياسات التسعيرية المزمع تطبيقها وكون المشروع متاحا للإستخدام العام أم لا؟
- نوعية التقنيات المطبقة ونظم التبريد الملائمة؟
- كيفية الحصول على الدعم المالي الخاص بالمشروع؟
- من سيملك المنشأة ومن سيقوم على تشغيلها وما هي خطط الصيانة المتبعة؟
- هل المشروع مجدي إقتصاديا؟

تشتمل عملية التخطيط لتطوير منشأة التخزين المبرد للحاصلات البستانية أو أحد ملحقاتها على ثلاث مراحل بدئا من التخطيط المبدئ وحتى عملية التنفيذ على نطاق كامل حيث يوضح شكل (15-1) تلك المراحل تفصيليا. سيتم التعرض لكل مرحلة تفصيليا في الأجزاء اللاحقة.

### المرحلة الأولى: الأهداف الأولية ودراسة الجدوى

في هذه المرحلة يتم وضع الأهداف والأسباب الرئيسية لتطوير منشأة التخزين البارد سواء كانت للإستخدام العام أو بغرض خدمة منتج أومشروع محدد مثل ما هو شائع في العديد من مزارع وشركات إنتاج التمور، الفراولة، العنب، والعديد من الحاصلات البستانية الأخرى بالدول العربية.

توجد العديد من النظم الحكومية الداعمة لتلك الأهداف مثل البنوك والصناديق المالية المختلفة وقد ظهر أخيرا وبفعل الجدوى الإقتصادية لمشاريع التخزين المبرد العديد من جهات التمويل الأخرى مثل شركات البناء والتأجير والتملك (BOT). في حال ما أثبتت الدراسة التسويقية ووفقا لموقع المشروع المختار وجود فرصة إستثمارية لوجود فجوة في العرض والطلب للسعات التخزينية وما يساندها من خدمات، يجب المضي قدما في دراسة الجدوى. سيتضح من الدراسة مدى قابلية الفكرة للتنفيذ ومدى الجدوى المتوقعة وهل هي مقبولة أم يجب تعديل بعض المعطيات لزيادة الربحية أو لجعل فترة إسترداد رأس المال المنفق أقصر.




**شكل (1.15)**: خريطة لخطة عمل مستودعات تبريد الحاصلات سريعة التلف.

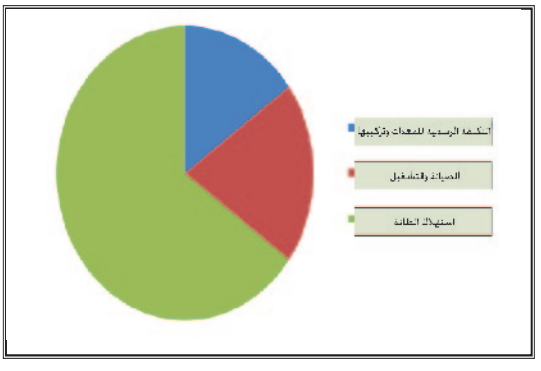
مخرجات تلك المرحلة من خطة العمل هو تحليل السوق، الدراسة الفنية والمالية، وغيرها من المعلومات المطلوبة لإعداد خطة العمل. من أهم القرارات أيضا في تلك المرحلة هو الأستقرار على موقع المشروع مع وجود المبررات الكافية التي تجعله مناسبا من حيث توفر البنية الأساسية اللازمة مثل الكهرباء، الماء، العمالة، شبكة الطرق، القرب من أسواق التصنيع والإستهلاك أو موانى ومطارت النقل الخارجي. أيضا ومن نتائج تلك المرحلة إختيار أنسب تقنية لنظام التبريد، نظم التداول

الداخلية، التصميم المبدئ بالإضافة لبقية عناصر المشروع حيث يراعي أن تكون صديقة للبيئة وموفرة للطاقة وأن تُطيل إجراءات التشغيل وخطط الصيانة العمر الأفتراضي للمعدات بغرض زيادة العائد منها وزيادة كفاءة المشروع. يراعى أيضا إعتبارات التوسع المستقبلي ووجود طاقة تبريد إحتياطية لمواجهة حالات زيادة الحمل بالإضافة لوجود مولدات طاقة إحتياطية في حال إنقطاع الكهرباء.

**شكل (2.15)**: بعض التوصيات الفنية للإختيار الأمثل لمعدات ونظم التبريد.

توجد نظم أخرى توفر نصف تلك التكلفة ولذا يجب أن تكون أحد عوامل إختيار النظام الأمثل. يجب حساب الطاقة المستهلكة لفترات محددة وذلك للخيارات المختلفة للمعدات والنظم المعروضة حيث أنها تلعب دورا رئيسيا في جدوى المشروع والربحية المتوقعه منه. من الأخطاء الشائعة هي إختيار المعدات والنظم الأرخص من حيث التكلفة الإستثمارية (تكلفة الشراء) دون مراعاة تكاليف التشغيل والصيانه علي مدار عمر المشروع، لذا يجب الإنتباه مبكرا لتفادي هذا الخطأ. يوضح شكل (3.15) أحد

**شكل (3.15)**: أحد التصميمات المكلفة لمحطة تبريد سريع ذات أحمال تبريدية عالية.




**شكل (4.15)**: عناصر تكاليف مشاريع التخزين المبرد.

التصميمات الغير ملائمة لمحطة تبريد سريع ذات أحمال تبريدية عالية فضل المالك شراء معدات ذات تكلفة إستثمارية منخفضة دون النظر لتكاليف التشغيل والصيانه والعمر الإفتراضي المتوقع لنظام التبريد والذي كان له بالغ الأثر علي جدوى وربحية المشروع في المدى البعيد. كان النظام المطبق هو التمدد المباشر بوحدات تجارية رغم كبر السعة التبريدية للمشروع. يلاحظ أيضا المساحة الكبيرة المهدرة التي تطلبها تلك المعدات مع ملاحظة إرتفاع سعر الأرض في منطقة المشروع. يوضح شكل (4.15) عناصر تكاليف المشروع المختلفة حيث يمثل الجزء الأكبر منها مصاريف الطاقة المستهلكة علي مدار العمر الإفتراضي للمشروع مقارنة بالتكاليف الإستثمارية وهي سعر المعدات وتركيباتها.

### المرحلة الثانية: خطة العمل وإختبار المفهوم

في هذه المرحلة يتم استخدام نتائج المرحلة السابقة لوضع خطة العمل والمضي قدما في إختبار المفهوم من خلال عرض خدمات المشروع بصورة تفصيليه علي عدد من العملاء في حال ما إذا كان سيتم تأجير المشروع للغير، أما في حال إستخدام المشروع بصورة حصرية للمالك فليس ثمة حاجة لتلك الخطوة حيث أن البديل المستخدم هو التأجير للغير بما فيه من عيوب ومنها إرتفاع الأسعار وتقلبها مع إحتمالات عدم وجود أماكن شاغرة، بعد المسافة، زيادة خطوات التداول، إنعدام السيطرة على المنتج بالإضافة للعديد من العوامل الأخرى. من نتائج تلك المرحلة تحديد عوامل هامة تؤكد جدوى وربحية المشروع ومنها نسب الأشغال المتوقعة على مدار العام.

يعتبر التخزين المبرد للحاصلات البستانية من الإستثمارات ذات الجدوى الإقتصادية المرتفعة، ويتضح ذلك من خلال مقارنة تكاليف التخزين المبرد بفارق أسعار الجملة داخل وخارج الموسم لأصناف الخضروات والفواكة القابلة للتخزين المبرد، حيث توضح المؤشرات وجود هامش ربحي جيد ومشجع للإستثمار في مجال التخزين المبرد لمختلف الحاصلات البستانية. هذا إلى جانب حتمية التخزين المبرد لبعض المحاصيل كما هو الحال بالنسبة لإنتاج تقاوي البطاطس والتي لابد وأن يتم تخزينها تحت درجات حرارة منخفضة حتى يمكن إستخدامها كتقاوي للموسم التالي. توضح المؤشرات بجدولي (2.15- 1.15) وعلى سبيل المثال جدوى التخزين المبرد لكل من البطاطس والبصل في المملكة العربية السعودية حيث يبلغ الفارق السعري للبطاطس 0.7 ريال/كجم، بينما يبلغ الفارق السعري للبصل 0.8 ريال/كجم، وهذا يعادل ضعف تكاليف التخزين ويحقق صافي ربح بنسبة تقدر بـ 23 % للبطاطس، و36 % للبصل.

**جدول (1.15):** مقارنة تكاليف التخزين داخل وخارج الموسم للبطاطس في المملكة العربية السعودية*.

| البيان | البطاطس |
|---|---|
| بداية فترة التخزين | يونيو |
| نهاية فترة التخزين | أكتوبر |
| مدة التخزين (شهر) | 4 أشهر |
| السعر في بداية فترة التخزين (ريال/كجم) | 1.3 |
| السعر في نهاية فترة التخزين (ريال/كجم) | 2.0 |
| الفارق السعري (ريال/كجم) | 0.7 |
| إجمالي تكاليف التخزين (10هللة/كجم/شهر) | 0.4 |
| صافي الربح (ريال/كجم) | 0.3 |
| نسبة الربح ( % ) | 23 |

المصدر: جمعت وحسبت من متوسط أسعار أهم السلع الزراعية المحلية والمستوردة في أسواق المناطق الرئيسية بالمملكة العربية السعودية - وزارة الزراعة – إدارة التسويق الزراعي. 1427هـ.

**جدول (2.15)**: مقارنة تكاليف التخزين المبرد داخل وخارج الموسم للبصل في المملكة العربية السعودية*.

| البيان | البصل |
|---|---|
| بداية فترة التخزين | يوليو |
| نهاية فترة التخزين | أكتوبر |
| مدة التخزين (شهر) | 4 أشهر |
| السعر في بداية فترة التخزين (ريال/كجم) | 1.1 |
| السعر في نهاية فترة التخزين (ريال/كجم) | 1.9 |
| الفارق السعري (ريال/كجم) | 0.8 |
| إجمالي تكاليف التخزين (10هللة/كجم/شهر) | 0.4 |
| صافي الربح (ريال/كجم) | 0.4 |
| نسبة الربح ( % ) | 36 |

المصدر: جمعت وحسبت من متوسط أسعار أهم السلع الزراعية المحلية والمستوردة في أسواق المناطق الرئيسية بالمملكة العربية السعودية- وزارة الزراعة – إدارة التسويق الزراعي. 1427هـ.

**جدول (3.15)**: مقارنة تكاليف التخزين المبرد بالفارق السعري لأسعار الجملة لبعض أصناف التمور في المملكة العربية السعودية*.

| البيان | أصناف التمور | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | السكري | الخلاص | البرحي | الرزيز | نبوت سيف |
| بداية فترة التخزين | سبتمبر | سبتمبر | سبتمبر | سبتمبر | سبتمبر |
| نهاية فترة التخزين | فبراير | فبراير | فبراير | فبراير | فبراير |
| مدة التخزين (شهر) | 6 أشهر | 6 أشهر | 6 أشهر | 6 أشهر | 6 أشهر |
| السعر في بداية فترة التخزين (ريال/كجم) | 9.0 | 6.0 | 6.0 | 4.0 | 6.0 |
| السعر في نهاية فترة التخزين (ريال/كجم) | 12.4 | 9.3 | 10.0 | 7.0 | 10.0 |
| الفارق السعري (ريال/كجم) | 3.4 | 3.3 | 4.0 | 3.0 | 4.0 |
| إجمالي تكاليف التخزين (10هللة/كجم/شهر) | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| صافي الربح (ريال/كجم) | 2.8 | 2.7 | 3.4 | 2.6 | 3.4 |
| نسبة الربح ( % ) | 31.0 | 45.0 | 56.7 | 65.0 | 56.7 |

المصدر: جمعت وحسبت من متوسط أسعار أهم السلع الزراعية المحلية والمستوردة في أسواق المناطق الرئيسية بالمملكة العربية السعودية - وزارة الزراعة – إدارة التسويق الزراعي. 1427هـ.

كما توضح النتائج بجدول (3.15) فإن الفارق السعري لأهم أصناف التمور بالسعودية يتراوح بين 3.0 إلى 4.0 ريال/كجم وهذا يمثل من خمسة إلى ستة أضعاف تكاليف التخزين، ويمثل نسبة ربح تتراوح بين 31 % في صنف السكري إلى 65 % في صنف الرزيز وبمتوسط نسبة ربح لمختلف الأصناف 50.1 % . يعتبر هذا الهامش الربحي كبير ومشجع للإستثمار في مجال التخزين المبرد للتمور حتى مع إنخفاض الأسعار خارج الموسم عند زيادة الطاقة التخزينية. من مخرجات تلك المرحلة أيضا وضع المواصفات الفنية الكاملة لنظام التبريد ونظام التحكم بكل عناصره بالإضافة لتوصيف عزل الجدران والأرضية والأعمال المدنية اللازمة وفقا لأهداف المشروع بصورة تفصيلية لتضمن ما يلي:

- الأجواء المناخية للمنطقة على مدار العام.
- موقع ومخطط المشروع.
- توصيف كافة أنواع المنتجات المزمع تخزينها، درجات الحرارة الإبتدائية لها، الفترة اللازمة للوصول لدرجة الحرارة النهائية المرغوبة، نسبة الرطوبة النسبية المطلوب توفيرها وإذا ما كانت هناك حاجة للتهوية من عدمه.
- نسبة التحميل والتنزيل لتلك المنتجات.
- طرق التعبئة والتداول.

أيضا تضمن المواصفات الفنية تحديد إستراتيجية التحكم المفترض تطبيقها للوصول لأفضل النتائج بغرض:

- الحفاظ علي جودة المنتجات المخزنة وإطالة عمرها التسويقي قدر المستطاع.
- كفاءة عملية التشغيل ومرونتها وضمان مواجهة أى عقبات أو مشاكل مثل إنقطاع الكهرباء أو حدوث تسريبات.
- الحد من إستهلاك الطاقة من خلال التعديل الدائم لمدخلات نظام التحكم مثل الضغوط ودرجات التبخير والتكثيف.
- مراعاة خطط الصيانة الملائمة للحد من الأعطال وزيادة الكفاءة وإطالة العمر التشغيلي للمحطة.

تضمن تلك المرحلة أيضا إنجاز كافة مخططات المشروع والتي تشتمل على:

- المخططات المعمارية.
- المخططات الإنشائية.
- المخططات الميكانيكية.
- المخططات الكهربائية.

بالإضافة لجداول الكميات التي توصف توصيفا دقيقا نوعية وكميات عناصر الأعمال المدنية المختلفة خاصة في ظل وجود مبنى إداري وسكن للعمال والخدمات الأخرى التي تضمن توفر الإشتراطات الصحية المختلفة بالمشروع والتي تتوافق مع المتطلبات الدولية المختلفة ذات الصلة في حال تصدير منتجات المشروع. أيضا توضع المواصفات الفنية للأعمال المدنية لتتوافق مع أحدث المواصفات القياسية العالمية وحسب الكود المحلي ذات الصلة.

## المرحلة الثالثة: تنفيذ المشروع على نطاق كامل

في هذه المرحلة وبإستخدام كافة المعلومات السابقة، يتم الحصول على عروض الأسعار المختلفة والمقارنة بينها وفقا للأسس السابق إيضاحها ليتم الترسية لصالح أفضل العروض فنيا ومن ثم سعريا مع وجوب وجود جدول زمني متفق عليه لمرحلة التنفيذ. يتم البدئ في تنفيذ المشروع مع أهمية وجود طرف ثالث محايد (جهه إستشارية) تقوم بعملية الإشراف للتأكد من مطابقة التنفيذ لما هو متفق عليه من مواصفات فنية.

عقب تنفيذ المشروع يجب العمل على تدريب كوادر المشروع الفنية على عملية التشغيل لفترات كافية مع وجود كافة الوثائق والمخططات التي تعتبر المرجعية الأولى في عمليات تقييم الأداء وقياس الكفاءة وتعتبر الأساس لأى توسعات مستقبلية وضرورية لتنفيذ عمليات الصيانة وفقا لتوصيات المُصنع.

يجب أيضا تطوير وثيقة تضمن خطوات التشغيل القياسية ويجب تحديثها بصورة دائمة. يجب أيضا مراعاة عمليات تسجيل درجات الحرارة ومستويات الرطوبة وكافة البيانات المتعلقة بالمنتجات المزمع تخزينها وكذلك مراقبة عمليات إستهلاك الطاقة والأحتفاظ بسجلات خاصة بها وذلك لعمل الموائمات اللازمة لأداء النظام لاحقا.

## مقارنة عروض الأسعار وفقا لتحليل دورة العمر التشغيلي

يجب أن تُشيد مخازن التبريد وأن تقدم خدماتها بتكلفة مقبولة وعادلة بغرض خدمة كل من المستثمر والعملاء في حال كان المستودع بغرض التأجير للغير أو لصالح شركة أو مستثمر محدد بصورة حصرية حيث يتم تحميل سعر تلك الخدمة على المنتج بنهاية الأمر ومن ثم يجب أن يضيف المشروع قيمة لتنافسية المنتج بالإضافة للحفاظ على جودته وإضافة قيمة زمنية له.

بناء علي ما سبق يجب ألا تعتمد عملية المقارنة للعروض المختلفة علي التكلفة الإستثمارية فقط بل يجب أن تتضمن تكاليف التشغيل والصيانة وتكلفة الطاقة المستهلكة. لذا يجب أن تعتمد عملية المفاضلة بين العروض المختلفة علي تحليل دورة العمر التشغيلي للمشروع (Life Time Analysis). التكاليف التي تستخدم لتحليل إقتصاديات دورة العمر التشغيلي للمشروع تضمن مايلي:

- **تكلفة التملك:** الضريبة علي الدخل، الضرائب العقارية، التأمين، التأجير، الصيانة والإحلال، الإهلاك للمباني والمعدات.
- **تكاليف التشغيل:** إستهلاك الكهرباء، الماء، الوقود، وسيط التبريد ومعدلات الإضافة المتوقعة سنويا، التخلص من النفايات الصلبة والسائلة، تكاليف العمالة وبدلاتهم، وتكلفة الخدمات الخارجية.
- **تكاليف الصيانة:** قطع الغيار والمستلزمات الأخرى، عمال الصيانة وبدلاتهم، وعقود الصيانة الخارجية.

يمكن إجراء تحليل دورة العمر التشغيلي في أى مرحلة أثناء تقييم عروض المعدات الرأسمالية الخاصة بالمحطة ويحب أيضا أن يستمر طوال فترة التشغيل. يمكن من خلال هذا التحليل توفير العديد من البيانات الهامة والمفيدة والتي تساهم في إتخاذ القرار الملائم لإختيار أنسب المعدات فنيا وسعريا حيث أن هذا التحليل يوضح كفاءة التصميم والتشغيل والعمر الإفتراضي لتلك المعدات ويساهم في عمل الصيانة الوقائية اللازمة التي تحافظ على أداء النظام.

يلاحظ أنه لنفس المشروع ولنفس الطاقة التبريدية توجد العديد من الحلول بنظم تبريد مختلفة وبأسعار متباينة لذا يجب ومن خلال المواصفة الفنية للمشروع ولغرض توحيد العروض أن يتم إختيار نظام التبريد المرغوب بكافة ملحقاته وبما فيه عزل الجدران والأرضيات. في الكثير من الأحيان وخاصة للمشاريع المتوسطة وصغيرة الحجم يفضل المالك الذهاب مباشرة للحصول على عروض مختلفة من العديد من المقاولون. يمكن للمالك الأستعانة بمتخصص لتحليل تلك العروض وفقا للمعطيات السابق شرحها.

يجب وفي كل الأحوال ألا تتجاوز الفوارق في عروض الأسعار عن 5-15 % حيث يمكن تبرير هذا الفارق بفعل مصاريف العمالة والتي تتبيان من دولة لأخرى بالإضافة لسعر المكونات ومنشأها إلخ. في حال الزيادة عن هذا يجب توخي الدقة حيث أن عملية الإختيار لا يجب أن تتم فقط وفقا للسعر بل وفقا لكافة العوامل السابق ذكرها من التكلفة الرأسمالية وتكاليف تشغيل وصيانة بالإضافة لأثر النظام ومصداقيتة في الحفاظ على الجودة المرغوبة للمنتج من خلال توفير درجة الحرارة بأقل قدر من التذبذب والحد من الأعطال بالإضافة للعوامل الأخرى مثل الرطوبة النسبية وتجانس توزيع الهواء وكفاءة عملية التهوية إلخ.

يجب ملاحظة أن شراء المعدات الأقل ثمنا لا يعني أنها الأكثر إقتصادية حيث أنها في غالبية الأحيان تكون مكلفة في عملية الصيانة لكثرة الإعطال بها وتكون بحاجة للكثير من قطع الغيارفي فترات زمنية قصيرة بالإضافة لإحتمال تأثر الخدمة المقدمة من مستودع التبريد حيث أن الأعطال ستؤثر على جودة المنتج بصورة كبيرة وتقلل من مصداقية النظام وتؤدي لخسائر فادحة خاصة في مواسم التصدير ذات الفترات الزمنية المحدودة. غالبية العملاء يطلبون التأمين وضمانات لجودة المنتجات المخزنة مما يعني ضرورة مصداقية النظام وعدم التذبذب في درجة الحرارة فضلا عن عدم إنقطاع الخدمة لفترة زمنية مهما قصرت. بمعنى أخر فإن قرار شراء معدات رخيصة الثمن يعني أقتراض مبلغ من المال بفوائد عالية سيتم دفعها لاحقا فضلا عن إرتفاع تكلفة الصيانة ومصاريف التشغيل.

## التكاليف الثابتة

التكاليف الثابتة هي تكاليف الأصول المتعلقة بالمشروع سواء تم تخزين منتج بالمستودعات أم لا حيث تتضمن:

1- التكاليف الرأسمالية للمبنى ولمعدات التهوية.

2- التكاليف الرأسمالية لمعدات التبريد والتداول.

3- الفائدة على الأموال المقترضة.

4- التأمين على المبنى ومعدات المشروع.

5- أى مدفوعات وضرائب حكومية ثابتة أو متغيرة.

كل هذه المصاريف يتم تحويلها لمعدلات سنوية في إطار العمر الإفتراضي للمشروع حيث لا يتم الوفاء بها في سنة واحدة من عمل المشروع نظرا لعدم جدوى تلك الفرضية وعدم واقعيتها. يتم تقدير التكاليف الثابتة بصورة سنوية كما يلي:

## 1- حساب التكاليف الثابتة

### 1-1 الإهلاك (Depreciation)

الإهلاك السنوي= التكاليف الرأسمالية/ العمر الإفتراضي المتوقع

كمثال على ذلك ولمبني قيمتة 100000 دولار وعمرة الإفتراضي عشرون عاما يكون قسط الإهلاك السنوي هو:

الإهلاك السنوي= 20/100000 = 5000 دولار سنويا

يؤخذ على تلك الطريقة في حساب الإهلاك ثبات القيمة المستقطعة سنويا على مدار عمر المشروع حيث لا تأخذ في الأعتبار تدني تلك القيمة بمرور الزمن بفعل التضخم وغيره من العوامل. لذا يمكن إستخدام العلاقة التالية كبديل:

$$\text{قيمة الإستهلاك السنوي} = ق[\ (م+1)^{ن}/((م+1)^{ن}-1)]$$

حيث :

ق: قيمة القرض

م: معدل الفائدة

ن: عدد الأقساط

في تلك العلاقة يتم حساب قيمة الإستهلاك السنوي بالإضافة إلى معدل الفائدة حيث يمكن الحصول على نتائج العلاقة السابقة مباشرة من جدول (4.15) وذلك لكل 1000 وحدة نقدية يتم إقتراضها وذلك لمعدل فائدة بين 5 إلى 20 % ولفترة زمنية تتراوح من سنة إلى أربعون عاما.

### 1-2 معدل الفائدة

في العام الذي يتم فيه إنشاء المشروع وشراء المعدات يكون مجموع التكاليف الرأسمالية هو المبلغ الذي يتم إقتراضه وتكون قيمته بعد إنقضاء العمرالإفتراضي للمعدات (القيمة الدفترية) صفر. متوسط معدل الفائدة السنوي في تلك الحالة يكون متوسط مجموع التكلفة الرأسمالية المقترضة بدئا من العام الأول وحتى العام الأخير مضروبا في معدل الفائدة المدفوع للجهه الممولة (البنك). كمثال على ذلك ولقرض بقيمة 100000 دولار وفائدة سنوية 7 %:

$$\text{معدل الفائدة السنوية} = \frac{\text{قيمة القرض في العام الأول - قيمة القرض في العام الأخير}}{2}$$

= 3,500 دولار.

### 1-3 التأمين

تتناسب قيمة التأمين مع التكلفة الرأسمالية للمشروع ونوع المعدات والمبنى. القيمة التقديرية للتأمين على المشروع تكون في حدود 1 % من قيمة التكلفة الرأسمالية للمبنى أو للمعدات. في بعض الأحيان يتم التأمين ضد المسؤلية لصاحب العمل كجزء من خطة التأمين.

### 1-4 المدفوعات للجهات الحكومية

تتباين تلك القيمة من بلد لأخر وفقا للحوافز التي تقدمها السلطات للقطاع الزراعي والصناعي.

## 2 - حساب التكاليف المتغيرة

### 1-2 الإصلاحات والصيانة

تتناسب قيمة الإصلاحات والصيانه مع التكلفة الرأسمالية للمشروع ووفقا لساعات التشغيل السنوية لمعدات التبريد. تقدر تكلفة الصيانة والإصلاح بمعدل 1.5 % سنويا في حين تقدر تلك القيمة للمباني بـ 1 %من قيمتها الرأسمالية.

**جدول (4.15)**: جدول الإهلاك كدالة في معدل الفائدة وفترة السداد.

| نسبة الفائدة % | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 18 | 16 | 14 | 12 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | |
| 1200 | 1180 | 1160 | 1140 | 1120 | 1100 | 1090 | 1080 | 1070 | 1060 | 1050 | 1 |
| 655 | 639 | 623 | 607 | 592 | 576 | 568 | 561 | 553 | 545 | 538 | 2 |
| 475 | 460 | 445 | 431 | 416 | 402 | 395 | 388 | 381 | 374 | 367 | 3 |
| 386 | 372 | 357 | 343 | 329 | 315 | 309 | 302 | 295 | 289 | 282 | 4 |
| 334 | 320 | 305 | 291 | 277 | 264 | 257 | 250 | 244 | 237 | 231 | 5 |
| 301 | 286 | 271 | 257 | 243 | 230 | 223 | 216 | 210 | 203 | 197 | 6 |
| 277 | 262 | 248 | 233 | 219 | 205 | 199 | 192 | 186 | 179 | 173 | 7 |
| 261 | 245 | 230 | 216 | 201 | 187 | 181 | 174 | 167 | 161 | 155 | 8 |
| 248 | 232 | 217 | 202 | 188 | 174 | 167 | 160 | 153 | 147 | 141 | 9 |
| 239 | 223 | 207 | 192 | 177 | 163 | 156 | 149 | 142 | 136 | 130 | 10 |
| 231 | 215 | 199 | 183 | 168 | 154 | 147 | 140 | 133 | 127 | 120 | 11 |
| 225 | 209 | 192 | 177 | 161 | 147 | 140 | 133 | 126 | 119 | 113 | 12 |
| 221 | 204 | 187 | 171 | 156 | 141 | 134 | 127 | 120 | 113 | 106 | 13 |
| 217 | 200 | 183 | 167 | 151 | 136 | 128 | 121 | 114 | 108 | 101 | 14 |
| 214 | 196 | 179 | 163 | 147 | 131 | 124 | 117 | 110 | 103 | 96 | 15 |
| 211 | 194 | 176 | 160 | 143 | 128 | 120 | 113 | 106 | 99 | 92 | 16 |
| 209 | 191 | 174 | 157 | 140 | 125 | 117 | 110 | 102 | 95 | 89 | 17 |
| 208 | 190 | 172 | 155 | 138 | 122 | 114 | 107 | 99 | 92 | 86 | 18 |
| 206 | 188 | 170 | 153 | 136 | 120 | 112 | 104 | 97 | 90 | 83 | 19 |
| 205 | 187 | 169 | 151 | 134 | 117 | 110 | 102 | 94 | 87 | 80 | 20 |
| 202 | 183 | 164 | 145 | 127 | 110 | 102 | 94 | 86 | 78 | 71 | 25 |
| 201 | 181 | 162 | 143 | 124 | 106 | 97 | 89 | 81 | 73 | 65 | 30 |
| 200 | 180 | 160 | 141 | 121 | 102 | 93 | 84 | 75 | 66 | 58 | 40 |

### 1-2 تكاليف الكهرباء

تعتمد تكلفة إستهلاك الطاقة على معدلات إستهلاك الكهرباء للمعدات المستخدمة. للموتور الذي تشير لوحة بياناته على أنه 1 ك.وات فإن معدل إستهلاكه للطاقة هو ك.وات لكل ساعة. هذا الرقم يفترض زيادة في الحمل تبلغ 1.25 مرة مقارنة بالحمل الفعلي وأن كفاءة الموتور غالبا ما تكون في حدود 80 %. يجب التأكد من إعتبار كل مصادر الطاقة بالنظام بما فيه من مبخرات، طلمبات، مرواح، ومواتير، أو محركات. يتم قياس التيار ومن ثم تحويله لقدرة وفقا للعلاقة التالية:

القدرة = التيار المقاس بالأمبير * 1.732 * الفولت * 1000/0.85

حيث أن 1.732 هو الجزر التربيعي لـ 3، و0.85 هو معامل القدرة المفترض. يمكن أيضا أخذ المعلومات من لوحة البيانات المدونة والإستعانة بمعدلات الطاقة المطلوبة لها حيث يتم ضربها في 0.6 للضواغط و0.9 للطلمبات للحصول على القدرات اللازمة.للتقدير

الدقيق لإستهلاك الكهرباء يجب حساب الفترة الزمنية وظروف تشغيل كل عنصر من عناصر محطة التبريد ومن ثم تحويله بالضرب في معامل القدرة وذلك لتقدير المعدلات الكلية لإستهلاك الطاقة. يتم تقدير هذا الإستهلاك بمعدلات شهرية أو سنوية. يجب ملاحظة أن معدلات إستهلاك الكهرباء تتباين وفقا للظروف المناخية ومن ثم يجب الإستعانة بكتالوجات المصنع لإستيضاح تلك التغيرات ويمكن أيضا الأستعانة باستشاري المشروع أو المقاول لذات الغرض. يتم تقدير التكلفة الكلية للطاقة من خلال ضرب الإستهلاك الكلي (ك.وات ساعة) خلال الفترة الزمنية المحددة بسعر وحدة الطاقة الملائم (وحدة نقدية/ ك.وات ساعة) وفقا لقطاع التشغيل ووفقا لموقع المشروع.

**2-2 الوقود**

معدلات إستهلاك الوقود للمعدات الأخرى مثل الروافع الشوكية عادة ما تؤخذ من سجلات تشغيل المشروع أو من كاتلوجات المعدات. تتباين معدلات إستهلاك الوقود حيث تكون أقل في حالة التحميل الجزئ مقارنة بظروف الحمل الكامل. يمكن إستخدام معدل إستهلاك وقود في حدود 0.25 لتر/ك.وات وذلك حينما تستخدم 40 % من القدرة. الرافعة الشوكية التقليدية بقدرة واحد طن تكون قدرتها في حدود 40 إلى 45 ك.وات. مثال على ذلك لرافعة شوكية قدرتها 40 ك.وات وعلى إفتراض تكلفة 0.35$/ لتر يكون:

تكلفة الوقود = 1.4 دولار/ساعة.

تتبع نفس الإجراءات السابقة للرافعات الشوكية التي تعمل بالغاز الطبيعي وذلك لتقدير معدلات الإستهلاك.

**3-2 مواد مستهلكة أخرى**

توجد العديد من المواد المستهلكه الأخرى لمستودعات التبريد بخلاف الكهرباء، الوقود، والغاز الطبيعي مثل ما تطلبة من عمليات التعقيم، الطبليات الخشبية، الصناديق البلاستيكية، زيوت التشحيم، وغيرها حيث يجب تضمين تكلفتها في مصاريف التشغيل المتغيرة.

**4-2 تكلفة العمالة**

تصنف تكلفة العمالة كتكاليف ثابتة لأنها غير موسمية. الزيادة السنوية لتلك العمالة تجعل من الممكن تصنيفها كمصاريف متغيرة.

## 3- حساب مصاريف التشغيل الكلية

مصاريف التشغيل الكلية السنوية لكل من المعدات والمبنى=

التكاليف الثابتة + التكاليف المتغيرة.

التكاليف الثابته = الإهلاك السنوي + الفائدة + التأمين + أخرى

التكاليف المتغيرة = الصيانة السنوية والإصلاح + الطاقة + المستهلكات + العمالة.

تكاليف التشغيل بالطن = مصاريف التشغيل السنوية/ السعة التخزينية السنوية.

## 4- تقدير مصاريف التشغيل الكلية

يضاف لما سبق أى تكاليف إضافية بما فيها الصيانة ومعالجة المياه والعمالة وغيرها من العناصر السابق إيضاحها حيث يوضح المثال التالي تفاصيل تلك العملية.

**مثال 1**

في محطة للتبريد السريع للخضروات والفاكهة تعمل بنظام التمدد المباشر وبوحدات تكثيف نصف مقفلة ولتقييم أداء النظام تم تقدير إستهلاك الكهرباء لعناصر النظام المختلفة بما فيها المواتير، الطلمبات، الضواغط، والمرواح وذلك بإستخدام 'Clamp-on' ammeter. تعمل المحطة لمدة ستون ساعة في الأسبوع وبها نفقي تبريد سريع. قُدر أن المحطة تعمل ثلثي هذا الوقت أى لمدة أربعون ساعة أسبوعيا نظرا للتشغيل لمدة دورتين فقط وعلى مدار خمسة أيام في الأسبوع حيث دورة التبريد السريع هي أربعة

ساعات. بناء عليه تم تقدير إستهلاك الكهرباء كما هو موضح بجدول (4.15). بناء علي ما سبق وعلى إفتراض استمرار هذا النمط من التشغيل لمدة موسم واحد يبلغ أربعة شهور، تكون التكلفة في تلك الفترة (16 أسبوع) هي 3936 دولار/للنفق وللنفقين تكون 7872 دولار للمحطة في تلك الفترة الزمنية. وفقا لنوعية المنتج تتباين دورة التبريد السريع ومن ثم يتم تقدير إستهلاك الكهرباء وفقا لكل موسم. العمر التقديري لمعدات التبريد يقدر بعشرة سنوات للمعدات التجارية في حين يتجاوز العشرون عاما بالنسبة للأنظمة الصناعية. جدير بالذكر أنه توجد العديد من برامج الحاسب الآلي التي يمكن أن يستعين بها المالك لإجراء الحسابات السابقة وتتباين من برامج بسيطة للأنظمة التجارية وبرامج أكثر تعقيدا كلما كبر حجم المحطة خاصة لأنظمة التبريد الصناعي. تعد تلك العملية ضرورية أيضا للمشاريع الكبيرة قبل إقرار أى عرض سعر لإنشاء المشروع.

**جدول (4.15)**: تقدير تكلفة إستهلاك الطاقة لأحد محطات التبريد السريع.

| العنصر | التيار | القدرة (ك.وات) | الأستهلاك الإسبوعي بالساعات | كيلو وات ساعة/ أسبوع | التكلفة الأسبوعية (0.15 دولار/ك.وات) |
|---|---|---|---|---|---|
| الضواغط | 54.5 | * 54.5 * 380 *1.732 =1000/0.85 30.49 | 40 | 1129.6 | 169.44 |
| مراوح المكثف | 7.5 | *1.732 * 7.5 * 380 =1000/0.85 4.2 | 40 | 168 | 25.2 |
| مراوح نفق التبريد | 15.3 | * 15.3 * 380 *1.732 =1000/0.85 8.56 | 40 | 342.4 | 51.36 |
| الإجمالي | | | | | 246 |

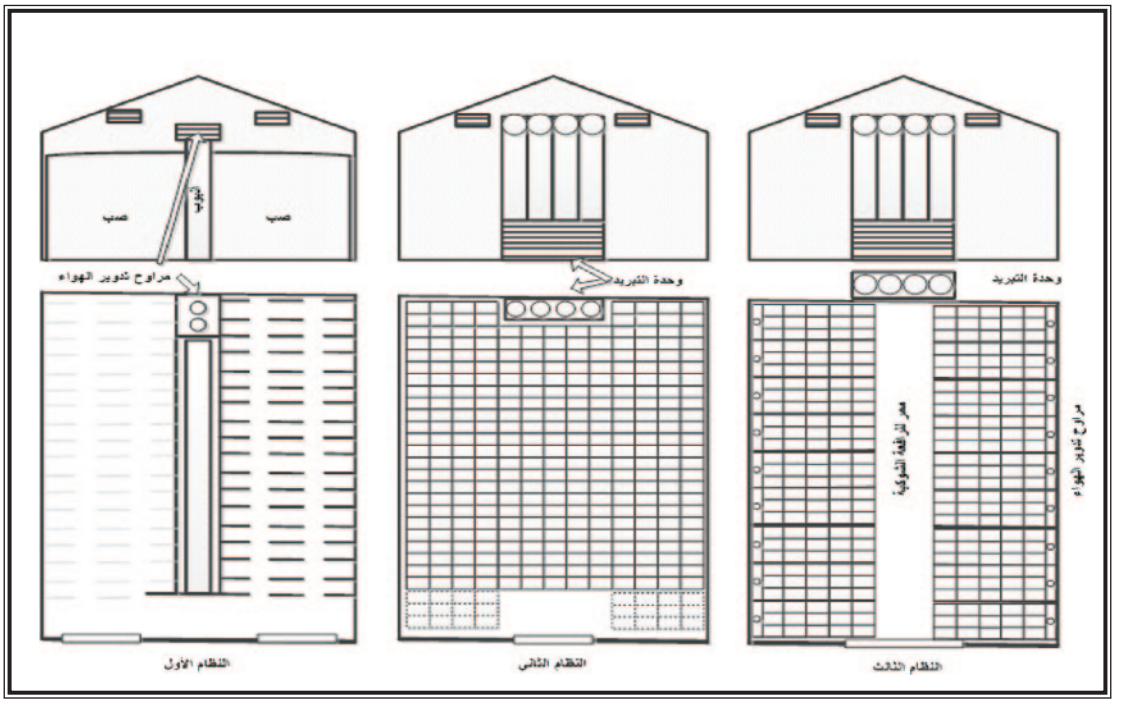
**مثال 2**

لإيضاح ما سبق سيتم عرض حالة تفصيلية لثلاثة إختيارات لإنشاء مستودعات تخزين للبطاطس بتقنيات وأهداف مختلفة. سيتم تقدير التكلفة الرأسمالية للمحطة وتكاليف التشغيل لكل حالة ومن ثم يتم حساب تكلفة التخزين للطن وفقا لكل نظام. يوضح شكل (5.15) شكل لنماذج المخططات الثلاث لتلك الأنظمة.

## 1- التكلفة الرأسمالية

**النظام الأول**

يعتمد على التهوية الخارجية وعلى نظام التخزين الصب أو السائب حيث يناسب هذا النظام محاصيل البصل والبطاطس في الأجواء الشتوية الباردة حيث يمكن إستغلال الهواء الخارجي في عملية التبريد. الجدران معزولة بالفوم بسمك 60 سم والمرشوش علي حائط من الصاج في حين السقف من نفس النوعية وبسمك 80 سم. معدل تدوير الهواء 0.02 م$^3$/ثانية/طن. يلاحظ في تلك الحالة أنه لا تتم أى عملية ترطيب للهواء وتكون عملية دفع الهواء بصورة متقطعة وفقا للمعدات المطلوبة. أقصى سرعة دفع للهواء في أنابيب التهوية هو 6 م/ثانية وتكون أنابيب الهواء مائلة من أعلى لضمان تجانس التوزيع وإنتظامه. يتم في هذا النظام ملئ المخزن حتى أرتفاع 4 أمتار لتفادي إى إجهادات أو إصابات ميكانيكية علي الطبقات السفلية للبطاطس. تبلغ تكاليف الأساس، الأرضية، ونظام تدوير الهواء 32 % من التكلفة الكلية للمستودع وفقا لجدول (5.15). التكاليف غير الباهظة لتخزين الطن والتي بلغت (205 دولار) سببها طريقة التخزين الصب أو السائب والتي تستوعب كميات كبيرة من المنتج بلغت 1950 طن.




**شكل (5.15)**: مخططات النظم الثلاث لمستودعات تخزين البطاطس.

**النظام الثاني**

في هذا النظام تتم عملية التخزين في صناديق خشبية (Bin) بحمولة حوالي طن/صندوق تقريبا حيث يتسع المخزن لـ 1860 صندوق. عادة ما تستخدم هذه الطرق مع البطاطس الجاهزة للتسويق. المستودع بنفس السعة والأبعاد في النظام الأول لكن مع وجود وحدة تبريد تقوم بالعمل في حال عدم ملائمة الهواء الخارجي لعملية التبريد ويمكن أيضا خلطه في حال كانت درجة حرارته ورطوبته تسمح بذلك لغرض التهوية. يتم تدوير الهواء بدفعه فوق الصناديق وسحبه من أسفل مرة أخرى وذلك من خلال نظام الأنابيب المرافق لوحدة التبريد كما سبق إيضاحه في الفصول السابقة. تضاف تكلفة الصناديق لتكلفة الخزن وتؤدي لإرتفاع سعر تخزين الطن مقارنة بالنظام الأول وكما يتضح في جدول (6.15).

**جدول (5.15)**: تكلفة النظام الأول من مستودعات تخزين البطاطس.

| العنصر | التكلفة ($) | نسبة التكلفة | تكلفة الطن ($) |
|---|---|---|---|
| الأساس، الأرضية، شبكة تدوير الهواء | 129160 | % 32.4 | |
| الهيكل والحوائط الحاملة | 79000 | % 19.8 | |
| التجليد الخارجي | 52783 | % 13.2 | |
| العزل | 59125 | % 14.8 | |
| الأبواب ونظام حمايتها | 5180 | % 1.3 | |
| الأنبوب الرئيسي لتدوير الهواء | 14545 | % 3.6 | |
| المرواح ونظم التحكم | 13817 | % 4.9 | |
| منافذ التهوية | 19590 | % 4.9 | |
| التوصيلات السلكية | 25830 | % 6.5 | |
| **الإجمالي** | **399030** | **% 100** | **205** |

**جدول (6.15)**: تكلفة النظام الثاني من مستودعات تخزين البطاطس.

| العنصر | التكلفة ($) | نسبة التكلفة | تكلفة الطن ($) |
|---|---|---|---|
| الأساس، الأرضية، شبكة تدوير الهواء | 74982 | % 21.2 | |
| الهيكل الخارجي | 51967 | % 14.7 | |
| التجليد الخارجي | 52783 | % 14.9 | |
| العزل | 59125 | % 16.7 | |
| الأبواب ونظام حمايتها | 5180 | % 1.5 | |
| منافذ التهوية | 8354 | % 2.4 | |
| نظام التبريد | 75460 | % 21.3 | |
| التوصيلات السلكية | 25830 | % 7.3 | |
| الإجمالي بدون الصناديق | 353681 | % 100 | |
| **تكلفة الصناديق** | **134627** | | **190** |
| **الإجمالي بالصناديق** | **488308** | | **362** |

**جدول (7.15)**: تكلفة النظام الثالث من مستودعات تخزين البطاطس.

| العنصر | التكلفة ($) | نسبة التكلفة | تكلفة الطن ($) |
|---|---|---|---|
| الأساس، الأرضية، شبكة تدوير الهواء | 74982 | 18.4 % | |
| الهيكل الخارجي | 51967 | 12.8 % | |
| تمديدات لتركيب وحدة التبريد | 13404 | 3.3 % | |
| التجليد الخارجي | 52783 | 13 % | |
| العزل | 59125 | 14.5 % | |
| الأبواب ونظام حمايتها | 5180 | 1.3 % | |
| أنابيب التهوية الجبرية | 39791 | 9.8 % | |
| منافذ التهوية | 8354 | 2.1 % | |
| نظام التبريد والتهوية | 75460 | 18.5 % | |
| التوصيلات السلكية | 25830 | 6.3 % | |
| **الإجمالي بدون الصناديق** | **406876** | **100 %** | **269** |
| **تكلفة الصناديق** | **109439** | | **72.5** |
| **الإجمالي بالصناديق** | **516315** | | **341.5** |

**النظام الثالث**

في هذا النظام يتم تخزين 1512 صندوق (والذي يتسع لطن واحد من البطاطس) من خلال نظام التهوية الجبرية أو الإيجابية حيث نظام التهوية منفصل عن نظام التبريد. يناسب هذا النظام تقاوي البطاطس لصغر حجم الدرنات والفراغات البينية ومن ثم يتم دفع الهواء من خلال مراوح تدوير الهواء بضاغط عالي لضمان تجانس عملية التبريد وإنتظام توزيع الهواء وذلك خلال كامل حمولة المستودع. أيضا وبفعل التربة الفقيرة التي عادت ما تنمو بها التقاوي وبفعل رطوبتها العالية والأجواء الباردة فيعد نظام التخزين هذا أفضل الخيارات للتخلص من حرارة التنفس حيث يوفر أجواء جافة للدرنات تقلل من إحتمالات إنتقال وتطور الأمراض في التقاوي خاصة المحصودة مبكرا. الممر المتروك بالمنتصف (بالإضافة لنظام التهوية) كما بشكل (5.15)

يعتبر مكلفا نظرا لإستغلاله جزء من المساحة المبردة الداخلية غير أنة ضروري لسهولة الوصول للأصناف المختلفة طوال موسم التسويق والذي يمتد على مدار العام. أيضا يعتبر مهما لفحص التقاوي المخزنة بصورة دورية وإتخاذ الإحتياطات الملائمة. ينتج عن ما سبق إرتفاع تكلفة تخزين الطن بالإضافة لتكلفة الصناديق. تبلغ تكلفة تخزين الطن وفقا لجدول (7.15) بدون صناديق 269 دولار مقابل 341.5 دولار مشتملا على تكلفة الصناديق.

**تكاليف التأمين**

بالإضافة للتكلفة الرأسمالية التي تم تقديرها كما سبق شرحه يجب أن يأخذ في الأعتبار مصاريف التأمين السنوية كونها تدفع بصرف النظر إن تم تشغيل أو إستخدام المستودع أم لا. تكون عملية التأمين بصورة أساسية ضد مخاطر الحريق بفعل إستخدام المواد البترولية العازلة حيث يفضل الحصول على عروض من شركات التأمين قبل البدء في تشييد المستودع حيث ربما يكون لشركات التأمين توصيات بمواد أكثر أمنا بغرض تقليل التكلفة. في حال عدم وجود عروض محددة يمكن تقدير تكلفة التأمين السنوية في حدود 0.5-1 % من التكلفة الرأسمالية.

**ب- تقدير التكاليف المتغيرة**

تشتمل التكاليف المتغيرة على:

1- الكهرباء لكل من نظام التهوية والتبريد.

2- الكهرباء لعملية التكييف (المبنى الإداري وسكن العمال) والإضاءة.

3- الوقود لسيارات المشروع ومولدات الطاقة الإحتياطية.

4- الغاز الطبيعي للروافع الشوكية.

5- الصيانة والإصلاحات للمبنى والعزل.

6- الصيانة والإصلاحات لنظام التبريد والتهوية.

7- تكاليف الإدارة بما فيها الرواتب والبدلات.

**الكهرباء لكل من نظام التهوية والتبريد**

لا توجد بيانات عن معدلات إستهلاك الطاقة لنظم التخزين المبرد للخضروات والفاكهة في الدول العربية لذا سيتم الإستعانة ببعض التقديرات بالمراجع الأخرى مع الإشارة لإختلاف الظروف المناخية والتي تؤدي لزيادة تلك المعدلات بفعل إرتفاع متوسط درجة الحرارة على مدار العام. يوضح جدول (8.15) تلك المعدلات لمخازن التبريد بطاقة تخزين كلية تبلغ 1000 طن. هذه البيانات قائمة على أن قيمة معامل إنتقال الحرارة الكلي أو قيمة العزل (U- value) تبلغ 0.32 وات/م$^2$.$^o$م. سيتم تقدير تكاليف وحدة الكهرباء هنا بقيمة 0.15 دولار لكل ك.وات ساعة. بلغت قيمة الكهرباء المستهلكة من شهر أكتوبر وحتى شهر يونيو 21.57 دولار لكل طن. يلاحظ أنه يجب تعديل تلك الأرقام لتتوافق مع معدلات الإستهلاك الحقيقية والسعر الفعلي لوحدة الإستهلاك وفقا للظروف المحلية السائدة.

**الوقود والغاز الطبيعي**

يستخدم الوقود في عمليات كثيرة ومنها المركبات الخاصة بالمشروع والروافع الشوكية الخاصة بعملية تداول الطبليات أو صناديق المنتج والتي عادة ما تستخدم الغاز الطبيعي وكذلك مولدات الطاقة الإحتياطية.

### الصيانة

عادة ما يتم تقدير تكاليف عمليات الصيانة والإصلاح بقيمة 1 % من التكاليف الرأسمالية للمستودعات. لنظام التبريد عادة ما يتم التعاقد مسبقا مع الجهة الموردة بعقد صيانة مستقبلي لعدد محدد من السنوات حيث تتباين قيمة التعاقد وفقا للعديد من المتغيرات ومنها موقع المشروع وكون التعاقد يشمل قطع الغيار من عدمة وعدد الزيارات الشهرية إلخ. تبلغ القيم التقديرية لعقد الصيانه السنوي 1.5 % من القيمة الرأسمالية لنظام التبريد.

**جدول (8.15)**: إستهلاك الكهرباء التقديري لمخزن تبريد بسعة ألف طن منسوبة لكل طن.

| الشهر | آستهلاك الكهرباء | تكاليف الوحدة ($) | التكلفة/طن ($) |
|---|---|---|---|
| أكتوبر | 25.23 | 0.15 | 3.78 |
| نوفمبر | 11.60 | | 1.74 |
| ديسيمبر | 9.52 | | 1.43 |
| يناير | 8.61 | | 1.29 |
| فبراير | 8.52 | | 1.28 |
| مارس | 11.16 | | 1.67 |
| أبريل | 13.11 | | 1.97 |
| مايو | 16.35 | | 2.45 |
| يونية | 19.14 | | 2.87 |
| يوليو | 20.54 | | 3.08 |
| **الإجمالي** | | | **21.57** |

### تكلفة تشغيل الروافع الشوكية للتنزيل والتحميل

عملية إستخدام الصناديق في مستودعات البطاطس تفرض إستخدام روافع شوكية من أنواع معينة وأحيانا روافع شوكية قادرة على حمل صندوقين في نفس الوقت كما هو واضح بشكل (6.15) وهو ما يجب مراعاته عند حساب تكلفة المشروع كقيمة رأسمالية بالإضافة لتكاليف التشغيل. يتم أيضا تقدير العدد الملائم وفقا للسعة التخزينية للمشروع. يجب أيضا مراعاة عدد السائقين وفقا لعدد ساعات التشغيل اليومي. يجب تقدير عدد الروافع المطلوبة وفقا لحجم المشروع.

**شكل (6.15)**: روافع شوكية ذات قدرة عالية لحمل صندوقي بطاطس.

### إدارة مخازن التبريد

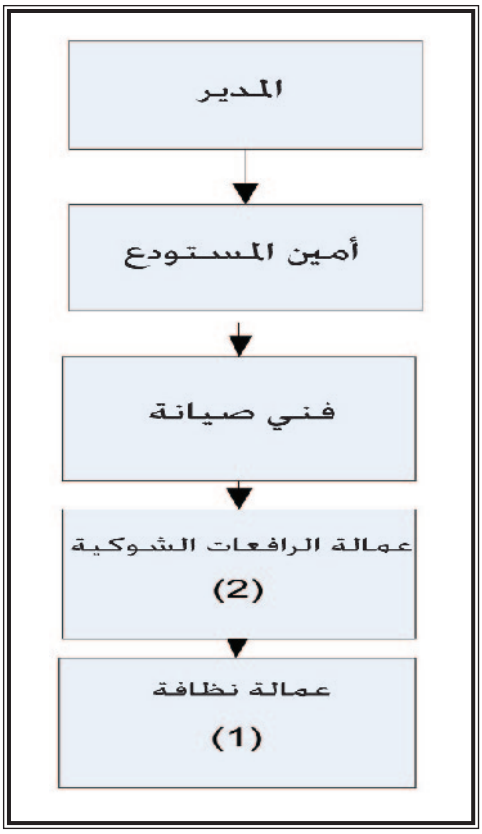
يتضمن الهيكل الإداري لمخازن التبريد بسعة 1500-200 طن الوظائف المشار إليها في شكل (7.15) حيث تتباين الإحتياجات وفقا لنوعية ودورية الفحوصات وآلية متابعة درجات الحرارة، الرطوبة، ونسبة ثاني أكسيد الكربون وغيرها من العناصر. يجب أن تراعي تكاليف الإدارة كافة البدلات، السفريات وتكاليف التأمين الصحي. و تتباين تلك التكلفة من بلد لأخر.

### ج- حساب تكاليف التشغيل الكلية للمستودعات

بعد حساب التكاليف الثابتة والمتغيرة يتم تقدير تكاليف التشغيل الكلية للمستودع حيث سيتم حساب تلك التكاليف لمخزن بسعة 1860 (النظام الثاني). سيتم إختيار فترة زمنية للإهلاك تبلغ عشرون عاما رغم أن العمر الفعلي للمخازن ربما يكون ضعف

تلك الفترة بشرط المحافظة على عمليات الصيانة بصورة جيدة. تلك الفترة المختارة تراعي بعض المحاذير المستقبلية مثل وجود فترات لا تعمل بها المستودعات لأى سبب كان. يمكن تعديل تلك الفترة وفقا لكل حالة على حدة. تفاصيل تلك الحسابات موضحة بجدول (9.15). بلغت تكلفة التخزين لكل صندوق سنويا 620.02 دولار. في غالبية الأحيان لا يتم الأحتفاظ بالمنتج لعام كامل حتى للتمور حيث يتم تسويق غالبيتها في شهر رمضان. بناء علي ما سبق يمكن تقدير التكلفة الفعلية لتخزن الصندوق في الشهر الواحد ليكون 5.2 دولار.

بالعودة لجدول (1.15) في المملكة العربية السعودية يلاحظ أن سعر التخزين المبرد للتمور هو 100 ريال/طن شهريا أو 1200 ريال/ سنة. وفقا لجدول 9.8 يتضح مدى الربحية لتلك المشاريع حيث تبلغ التكلفة الفعلية (62.02 دولار * 3.76 ريال/ دولار)
= 233.87 ريال على إفتراض نسبة إشغال كاملة من حيث السعة التخزينية وعلى مدار العام.




**شكل (7.15)**: نموذج هيكل إداري لمستودعات بسعة 1500-2000 طن.

**جدول (9.15)**: حساب التكاليف الكلية لتشغيل مستودع النظام الثاني بسعة 1860 صندوق.

| العنصر | المجموع الأصلي | التكلفة السنوية ($) | التكلفة/طن ($) |
|---|---|---|---|
| **التكاليف الثابتة** | | | |
| الإهلاك للمستودع بعد عشرون عاما بفائدة سنوية 7 % | 353,681 × (0.094) | 33,246 | 17.87 |
| الإهلاك للصناديق (تكلفتها 73$/صندوق) | 134627 × (0.094) | 12655 | 6.8 |
| التأمين (1.5 %) | 353,681 × 0.015 | 5305 | 2.85 |
| مجموع التكاليف الثابتة | | | 27.52 |
| **التكاليف المتغيرة** | | | |
| الكهرباء للتهوية والتبريد | | | 21.57 |
| الصيانة والإصلاح (1 % من قيمة المبني باستثناء المعدات) | 244037 | 2440 | 1.31 |
| الصيانة والإصلاح للمعدات (1.5 % من قيمة المعدات) | 109644 | 1644.7 | 0.88 |
| تكاليف تشغيل الروافع الشوكية (تقديرية) | | 10000 | 5.37 |
| تكلفة إدارة المشروع (تقديرية) | | 10000 | 5.37 |
| التكاليف المتغيرة الكلية | | | 34.5 |
| **تكاليف التشغيل الكلية** | | | 62.02 |

يجب إجراء تحليل للحساسية لجدوى المشروع وفقا لإحتمالات التشغيل المستقبلية بسعات متغيرة وعلي فترات زمنية مختلفة وتقدير أثر ذلك على جدوى المشروع وفقا لإفتراضات واقعية. يجب أيضا مراعاة مواسم الأنتاج وأوقات ذروة الطلب على خدمات المشروع، بالإضافة لوجود منافسين أخرين إلخ. أيضا يراعى أوقات الصيانة السنوية وتنظيف المخازن وغيرها من العوامل. من الإفتراضات المنطقية هو أن تتراوح نسب الإشغال من 60 % من طاقة المشروع في العام الأول وبزيادة سنوية مقدارها 5 % في حين تتراوح فترة التشغيل في حدود 8 أشهر في العام.

**الخلاصة**

يتضح في الجزء السابق ضرورة التخطيط الدقيق لمشاريع التخزين المبرد بغرض الوصول لأفضل التصميمات التي توفر الطاقة وتحد من الأعطال وتزيد العائد من الإستثمارات الموجهة لهذا القطاع. دراسة الجدوى بجوانبها الثلاث : التسويقية، الفنية، والمالية تعتبر خطوة هامة لتقدير التكلفة الفعلية للمشروع ومن ثم تقدير الأحتياجات اللازمة للتشغيل والإدارة. يجب عند مقارنة عروض الأسعار المختلفة لنظم التبريد أن توضع في الأعتبار كافة عناصر التكاليف الثابتة والمتغيرة ومتطلبات الصيانه. تختلف تكلفة الطاقة، العمالة، الفائدة على القروض، والتأمين من بلد لأخر و يجب أخذ كل هذا في الأعتبار.

## المراجع


Acedo, A. L. Jr. (1997). Ripening and disease control during evaporative cooling storage of Tomatoes. Tropical-Science 37(4): 209-213.

Acican, T., Alibas, K. and Ozelkok, I. S. (2006). Mechanical Damage to Apples during Transport in Wooden Crates.Biosyst. Eng. 96: 239-248

Ait-Oubahou, A. and Yahia, E.M. (1999). Postharvest handling of dates. Postharvest News & Information 10(6):67N-74N.

Al-Kahtani, H. A., Hamza, M., Abu-Tarboush, Yousif N., Al-Dryhim, Mohamed A. Ahmed, Adnan, S. Bajaber, El-Shami, E. Adamand, El-Mojaddidi, Mohamed A. (1998). Irradiation of dates: insect disinfestation, microbial and chemical assessments, and use of thermoluminescencetechnique. Radiation Physics and ChemistryVolume 53, Issue 2, August 1998, Pages 181-187.

Al-Redhaiman, K. N. (2004). Modified atmosphere improves storage ability, controls decay, and maintains quality and antioxidant contents of Barhi date fruits. J. Food Agric. Environ. 2, 25–32.

Anonymous. (2006). Singapore to implement new cold chain standards. ColdStoreDesign.com Newsletter. August 2006.

ASHRAE. (1998). ASHRAE Refrigeration Handbook (SI). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta.

Becker, R. B. and Fricke, B. A. (2005). Design Essentials for Refrigerated Storage Facilities. American Society of Heating Refrigerating and Air- Conditioning.

Benz, S. M. (1989). Wet air cooling. International Institute of Ammonia Refrigeration Annual Meeting 11, 85-94.

Bishop, C., Clayton, R. and Bishop, B. (2009). Potatoes postharvest. CABI. UK.

Brosnan, T. and Sun, D. W. (2001). Precooling techniques and applications for horticultural products — a review, International Journal of Refrigeration, 24 ( 2), 154-170.

California Strawberry Commission (2008). Best Handling Practices for Fresh Strawberries. Watsonville, California. http://www.calstrawberry.com/fileData/docs/Best_Handling_Practices_For_Fresh_Strawberries.pdf

Chourasia, M., Kand, T. K., and Goswami. (2006). Modeling the Cooling of Potatoes in Cold Storage Under Variable Storage Air Temperature Using the CFD.Paper number 066089 . American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual Meeting, St. Joseph, Michigan.

Debney, H. G., Blacker, K. J., Redding, B. J. and Watkins, J .B. (1980) .Handling and storage practices for fresh fruit and vegetables. Produce manual. Australian United Fresh Fruits and Vegetables Association.

Dohlen, G. V. (2011). Refrigeration Implications of High-Rise Automated Warehouses. Technical Paper #8.2011 Industrial Refrigeration Conference & Heavy Equipment ShowCaribe Royale. Orlando, Florida.

Earl, R. L. (1983). Unit operation in Food processing engineering. The New Zealand Institute of Food Science & Technology.

Elansari, A. M. (2003). Forced Air Fast Cooling System of Egyptian Fresh Strawberries. Misr Journal for Agriculture Engineering. Vol. 20 (3): 571-586.

Elansari, A. M. (2008). Hydro-cooling Rates of Barhee dates at Khalal Stage. Postharvest Biology and Technology 48: 402–407.

Elansari, A. M. (2009C). A shorten approach to design forced air cooling systems. Journal of the Suadi Society of Agricultural Sciences Volume 8; Number 1; Mar. 2009.

Elansari, A. M. (2009B). Design of Portable Forced-Air Precooling System. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 2: 38-48.

Elansari, A. M. (2009A). Design Aspects in the Precooling Process of Fresh Produce. In: Quality retention during Postharvest handling chain, Sivakumar, D. Ed, 49-57, Global Science Book, UK.

Elansari, A. M. and Tator, R. (1998). Fast cooling technical manual. Bulletin of Ministry of Agricultural and Reclamation, Egypt. ATUT project 50: 13-34.

UNEP. (2001). Alternative to Bromide Methyl. Alternative to Bromide Methyl. United Nations Envirmenet Programme. Division of Technology, Industry and Economics. Ozonaction Program. http://www.unep.fr/ozonaction/information/mmcfiles/3072-e-mbsourcebook.pdf

FAO. (1989). Prevention of post-harvest food losses: fruits, vegetables and root crops. Food and agriculture organization of the united nations, Rome.

Farrimond, A., Lindsay, R. T., Neale, N. M. (1979). The ice bank cooling system with positive ventilation. International Journal of Refrigeration 2: 199-205.

Fischer, D., Craig, W. and Ashby, B. H. (1990). Reducing Transportation Damage to Grapes and Strawberries. J. Food Dist. Res. 21: 193-202.

Fraser, H. W. (1998). Tunnel forced-air coolers for fresh fruits and vegetables.Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Factsheet, Agdex# 736/20. ISSN#1198-712X.

Geeson, J. D. (1989). Cooling and storage of fruits and vegetables. Proceedings of the Institute of Refrigeration, London, v. 85, p. 65-74.

Gobalakrishna, K. P., Prakash, J. and Pierik, R. (1991). Evaporative cool storage of tomato fruits. Horticulture-new technologies and applications. Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture 12.

GPG 279. (2000). Running refrigeration plant efficiently. – A cost saving guide for owners. Best Practice Program. UK.

GPG 283 (2000). Designing energy efficient refrigeration plant. Best Practice Program. UK.

Henderson, A. (1999). Cool storage of seed potatoes. Agriculture notes (Victoria. Dept. of Primary Industries); AG0315. PANDORA electronic collection

Hugh, W. and Fraser, P. (2007). Tunnel forced - air coolers, Canadian plan service. M-6666.

IARW. (2010). Maintenance and modernization manual. International Association of Refrigerated Warehouse, Alexandria, VA, USA.

IIAR. (2010). $CO_2$ Industrial Refrigeration Handbook. International Institute of Ammonia Refrigeration Puplication. Alexandria, VA, USA.

Jackmann, H. and Runsey, I. (2008). Air-cooled Ammonia Condensers as an Alternative to Evaporative Condensers. IIAR Ammonia Refrigeration Conference & Exhibition, Colorado Springs, Colorado. March 16–19.

Jain Dilip, J. (2007). Development and testing of two-stage evaporative cooler. J. Building and Environment 41: 2549 – 2554.

Jobling, J. (2000). Postharvest ethylene: A critical factor in quality management [Online]. Sydney Postharvest Laboratory. Sydney, Australia.

Kader, A.A. 2006. The return on investment in postharvest technology for assuring quality and safety of horticultural crops. J. Agric. Invest. 4:45-52.

Kader, A. A. (editor). (2002). Postharvest Technology of Horticultural Crops. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources Publication, 3311, Oakland, CA, USA.

Kawamura, K., Akaboshi, S., Machida, A., Mugabi, N. (2008). Design Considerations for an NH3 System Utilizing $CO_2$ as a Secondary Refrigerant in Tokyo, Japan. 2008 IIAR Ammonia Refrigeration Conference & Exhibition, Colorado Springs, Colorado.

Koelet, P.C. (1992). Industrial Refrigeration: Principles: Design and Applications. Marcel Dekker Incorporated.

Lawrence, J. (2007). Postharvest handling of soursop. December, 15-17.

Macleod-Smith, R. I. and Espen, V. J. (1996). Modern practices in wet air cooling for pre-cooling and storage of fresh producer. The Australian Institute of Refrigeration, Air Conditioning and Heating Journal 50: 31-40..

Maohammed, M. (2005). Optimizing postharvest handling and maintaining quality of fresh pineapples. Puplication of Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture, Trinidad and Tobago.

Mejia, M. (1991). Design and development of a cooler.internal report AGE871. Clemson SC: Clemson University Ross, D.S. 2002.

Ross, D. S. (1990). Basics of Postharvest cooling. Facts. Agricultural Engineering/University of Maryland.Cooperative Extension Services, USA.

Shokr, A. Z., Sabbah, M. A. and Elansari, A. M. (1994). Forced air pre-cooling of mangoes in boxes. Miser Journal for Agricultural Engineering 11 (1): 36-51.

Stoecker, W. F. (1998). Industrial refrigeration handbook. McGraw-Hill, NY, USA, 782 pp.

Talbot, M. T. and Baird, C. D. (1991). Psychometrics and Post harvestOperations. Proc. Fla. State Hort. Soc. 104: 94-99.

Tassou, S. A. and Xiang, W. (1998) Modeling the environment within a wet air-cooled vegetable store. Journal of Food Engineering 38: 169-187.

Thompson, J. F, Bishop, C. F. H. and Brecht, P.E. (2004). Air Transport of Perishable Products, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, CA, USA.

Thompson, J. F. (2002). Cooling Horticulture commodities. In: Postharvest Technology of Horticultural Crops Kader, A. A. (editor), Postharvest Technology of Horticultural Crops.: University of California, Division of Agriculture and Natural Resources Publication, 3311, Oakland, USA.

Thompson, J. F., Brecht, P. E. and Hinsch, T. (2002). Refrigerated trailer transport of perishable products. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources Publication no. 21614, Oakland, CA, USA.

Thompson, J. F. (1996). Forced-air cooling.Perishable Handling Newsletter. Issue No.88. November. pp 2-11.

Thompson, J. F., Kesmire, R. F. and Mitchell, F. G. (2008). Commercial cooling of fruits, vegetables, and flowers, Publication 21567. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, CA, USA.

TolsmaTechniek. (2009). All about potatoes. TolsmaTechniekEmmeloordb.v. Postbus 1010, NL-8300 BA Emmeloord.

Toussaint, V., Ouimet, A., Carisse, O., DeEll, J. and Clément, V. (1999). Hygiene Measures in Fruit and Vegetable Storage Warehouses. Agriculture and Agri-Food Canada. Bulletin number A42-84/1999E-IN.

Vigneault, C; Gariepy, Yvan; Roussel, Dominique; Goyette, Bernard. (2004). The effect of preccoling delay on the quality of stored sweet corn. Journal of Food Agriculture & Environment 2 (2); 71 – 73.

Vigneault, C. , Thompson, J.F., Stefanie Wu. K.P. Catherine Hui and Denyse I. LeBlanc. (2009). Transportation of fresh horticultural produce. In: Postharvest Technologies for Horticultural Crops, 2009, Vol. 2: 1-24.

Wilox, R., Morton, R., Bachman, J. and Brown, D. (2007). IndustrialRefrigerationBestPractices Guide (2nd Edition). Cascade Energy Engineering. Portland, USA.

Yahia Elhadi M. (2009). Effects on fungal diseases, p. 193-212. In: E.M. Yahia (Editor). 2008. Modified and controlled atmospheres for transportation, storage and packaging of horticultural commodities.Recent advances. CRC Press (Francis & Taylor).

Yahia Elhadi M. (2009). Introduction, p. 1-16. In. E.M. Yahia (Editor). Modified and controlled atmospheres for transportation, storage and packaging of horticultural commodities.Recent advances. CRC Press (Francis & Taylor).

Yahia Elhadi M. (Editor). (2009). Modified and controlled atmospheres for transportation, storage and packaging of horticultural food commodities. CRC Press (Taylor & Francis). ISBN 978-1-4200-6957-0. 589 pages. http://www.crcpress.com/shopping_cart/products/product_detail.asp?sku=69578&isbn=9781420069570&parent_id=&pc=

Yahia, E.M, J. Guevara, L.M.M. Tijskens, and L. Cedeño. (2005). The effect of relative humidity on modified atmosphere packaging gas exchange. ActaHorticulturae 674: 97-104.

Yahia, E.M. (2003). Dates. Postharvest quality maintenance guidelines. The commercial storage of fruits, vegetables, and nursery florist and nursery stocks. USDA Handbook No. 66.

Yahia, E.M. (2005). Postharvest research and reality in developing countries. Acta Horticulturae 682:1655-1666.

Yahia, E.M. (2006). Effect of quarantine treatments on quality of fruits and vegetables. In: G. Gonzalez (Ed.). Storage. The Stewart Postharvest Reviews 1(6):1-18.

Yahia, E.M. (2006). Modified and controlled atmospheres for tropical crops. In: Yahia, E.M. (Ed.). The current status and future application of modified and controlled atmospheres for horticultural commodities. The Stewart Postharvest Review 5(6): 1-10.

Yahia, E.M. (2007). Modified and Controlled Atmospheres. In: Recent Advances in Postharvest Technologies to Control Fungal Diseases in Fruits & Vegetables. Editors: R. Troncoso-Rojas, M. E. Tiznado-Hernández and A. Gonzalez-Leon. Transworld Research Network, Kerala, India, pp. 103-125.

Yahia, E.M. (2007). Need for Intelligent and Active Packaging in Developing Countries. In: Frontiers of "intelligent" and "active" packaging for fruits and vegetables. Editor, Charles L. Wilson, CRC Press, pp. 263-288.

Yahia, E.M. (2010). Cold chain development and challenges in the developing world. Acta Horticuolturae (ISHS) 877:127-132 http://www.actahort.org/books/877/877_9.htm

Yahia, E.M. (Editor). (2006). The current status and future applications of modified and controlled atmospheres for horticultural commodities. Stewart Postharvest Review. Issue 5, Supplement 3,October 2006. (http://www.stewartpostharvest.com/Archives/Archives_Issue5_October2006.ht

Yahia, E.M. and D. Ortega. (2000). The use of controlled atmospheres at high temperature to control fruit flies (*Anastrephaludens* and A. oblique) and their effect on mango quality. In: Proc. International Multidisciplinary Conference: Integrated View of Fruit & Vegetable Quality, W.J. Florkowski, S.E. Prussia, and R.L. Shewfelt (Eds), p. 143-153. Technomic publishing Co, Inc, Lancaster, Basel. ISBN 1-58716-019-6.

Yahia, E.M. and G. Gonzalez. (1998). The use of passive and semi-active atmospheres to prolong the postharvest life of the fruit of avocado. Food Science and Technology (Lebensm. Wiss. U-technol) 31(7 & 8):602-606.

Yahia, E.M. and I. Higuera. (Eds). (l992). Postharvest Physiology and Technology of Horticultural Crops (in Spanish). Limusa/Grupo Noriega Editores, México. 303p. ISBN 968-18-4147-6.

Yahia, E.M. and M. Rivera. (1992). Modified atmosphere packaging of muskmelon. Food Science & Technology (Lebensm. Wiss. u-Technol.) 25(1):38-44.

Yahia, E.M. and S.P. Singh. (2009). Tropical fruits, p. 397-444. In: E.M. Yahia (Editor). Modified and controlled atmospheres for transportation, storage and packaging of horticultural commodities.Recent advances. CRC Press (Taylor & Francis).

Yahia, E.M., K.E. Nelson, and A.A. Kader. (l983). Postharvest quality and storage life of grapes as influenced by CO added to air or controlled atmosphere. Journal of the American Society for Horticultural Science l08(6):1067-1071.

Yahia, E.M., M. I. Eltamzini, A.A. Elsaid, and S. Elyateem. (2008). Training manual on postharvest handling and marketing of horticultural commodities. Published by FAO, Regional Office for the Near East, Cairo, Egypt, 276 pp. ISBN 978-92-5-106036-0.

Yahia, Elhadi M. (1998). Modified/controlled atmospheres for tropical fruits. Horticultural Reviews 22:123-183.

Yahia, Elhadi M. (2004). Modified and controlled atmospheres. CIAD, Mexico (in Spanish). ISBN 968-5862-06-0.

Yahia, Elhadi M. (2005). Postharvest technology and handling of mango. In: RamdaneDris (Ed.). Crops: Quality, Growth and Biotechnology. WFL Publisher, Helsinki, Finland. pp. 478-512.

Yahia, Elhadi M. (2005). Postharvest technology of food crops in the Near East and North Africa (NENA) region. In: RamdaneDris (Ed.). Crops: Quality, Growth and Biotechnology. pp. 643-664. WFL Publisher, Helsinki, Finland.

Yahia, Elhadi M. (2008). The role of postharvest technology in improving nutrition and promoting national development in Developing Countries. Constraints and challenges. Chapter 2. In: Gordon L. Robertson and John R. Lupien (Eds.). Using Food Science and Technology to Improve Nutrition and Promote National Development. International Union of Food Science & Technology (IUFoST). http://www.iufost.org/publications/books/documents/Yahia.pdf

Yahia, Elhadi M. (2011). The postharvest use of chlorine and ozone on fresh produce. Scientists Speak. World Foods Logistics Organization, New Orleans, USA, pp. 11-17.

Yahia, Elhadi M. (Ed). (2011). Postharvest biology and technology of tropical and sub-tropical fruits. Woodhead Publishing Co., 4 Vlumes. Oxford.

Yahia, Elhadi M. (Editor). (2011). Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits. Volume 2. Acai to citrus. Woodhead Publishing, England.532 pages.

Yahia, Elhadi M. (Editor). (2011). Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits. Volume 3. Cocona to mango. Woodhead Publishing, England, 584 pages.

Yahia, Elhadi M. (Editor). (2011). Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits. Volume 4. Mangosteen to sapote. Woodhead Publishing, England, 501 pages.

Yahia, Elhadi M. and Adel A. Kader. (2011). Date (*Phoenix dactylifera* L.). In: Yahia, Elhadi M. (Editor). Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits. Volume 3. Cocona to mango. Woodhead Publishing, England. pp. 41-79.

Yahia, Elhadi M., Catherine Barry-Ryan, and RamdaneDris. (2004). Treatments and techniques to minimize the postharvest losses of perishable food crops. In: R. Dris and S. M. Jain (Eds.). Production practices and quality assessment of food crops. Vol. 4. Postharvest treatment and technology. Kluwer Academic Publisher, p. 95-133.

Yahia, Elhadi M., J de Jesús Ornelas-Paz and AtefElansari. (2011). Postharvest technologies to maintain the quality of tropical and subtropical fruits. In: Yahia, Elhadi M. (Editor). 2011. Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits. Volume 1. Fundamental issues, 142-193, Woodhead Publishing, England.

Yahia, Elhadi M., Robert Jones and D.B. Thomas. (2011). Quarantine pests of tropical and subtropical fruits and their control. In: Yahia, Elhadi M. (Editor). 2011. Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits. Volume 1. Fundamental issues, p. 224-287, Woodhead Publishing, England.

Zagory, D. (1998). Produce packaging: a practical workshop. Publication No. 40.ATUT market report. USAID Project No.263—240.Ministry on Agriculture, Egypt.

حوباني، الجنوبي (2003). تطبيقات هندسية في تصنيع التمور. النشر العملي والمطابع. جامعة الملك سعود. المملكة العربية السعودية.

محمد إبراهيم الطمزيني، الهادي معاوية يحيى، صلاح الدين اليتيم، علي عبد الفتاح السعيد. 2008. دليل تدريبي لمعاملات مابعد الحصاد وتسويق المحاصيل البستانية. منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة، المكتب الإقليمى، القاهرة، مصر.

## ملاحق

## ملحق ب

## الشروط الموصى بها لتداول بعض الحاصلات البستانية

| الأسم العربى | الأسم الشائع Common name | الأسم العلمى Scientific name | درجة الحرارة (C°) | الرطوبة النسبية (%) | انتاج الأيثيلين | الحساسية للإيثيلين | عمر ما بعد الحصاد |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| اسيرولا | Acerola Barba dos cherry | *Maipighia glabra* | 0 | 90-85 | | | 8-6 اسبوع |
| | African horned melon; kiwano | *Cucumis africanus* | 15-13 | 90 | L | M | 6 شهر |
| نبت البرسيم الحجازى | Alfalfa sprouts | *Medicago sativa* | 0 | 95-100 | | | 7 شهر |
| | Amaranth; Pigweed | Amaranthus spp. | 2-0 | 95-100 | VL | M | 14-10 يوم |
| العنب الأمريكى | American grape | *Vitis Iabrusca* | (-0.5) - 1 | 90-95 | VL | L | 6-1 شهر |
| التفاح | Apple | *Maluspumila* | 1 - (-1) | 90-95 | M | H | 6-3 شهر |
| أصناف التفاح الحساسة للبرد | Apple chilling sensitive | *cv. Yellow, Newton, Grimes, Golden, Mcintosh* | 4 | 90-95 | M | H | 2-1 شهر |
| المشمش | Apricot | *Pranus armeniaca* | (-0.5) - 0 | 90-95 | M | H | 3-1 اسبوع |
| ارجيولا | Arugula | *Eruca versicaria var._sativa* | 0 | 95-100 | VL | H | 10-7 يوم |
| الكمثرى الأسيوية | Asian Pear, Nashi | *Pyrus serotina; P. Pyrifoha* | 1 | 90-95 | H | H | 6-4 شهر |
| أسبرجس اخضر وابيض | Asparagus green, white | *Asparagus officinahs* | 2.5 | 95-100 | VL | M | 3-2 اسبوع |
| القشطة | Atemoya | *Annona squamosa x A. cherimola* | 13 | 85-90 | H | H | 6-4 اسبوع |
| زبدية | Avocado Fuchs Pollock | PerseaAmericana | 13 | 85-90 | H | H | 2 اسبوع |
| زبيدية فيورتى وهاس | Avocado fuerte Hass | *Persea Americana* | 7-3 | 85-90 | H | H | 4-2 اسبوع |
| زبدية لولا | Avocado Lula Booth | *Persea Americana* | 4 | 85-90 | H | H | 8-4 اسبوع |
| باباظ باباكو | Babaco, Mt.Papaya | *Carica candamarcensis* | 7 | 85-90 | | | 3-1 اسبوع |
| الموز | Banana | *Musa paradisiaca var._ sapientum* | 15-13 | 90-95 | M | H | 4-1 اسبوع |
| كريز باربادوس | Barbados cherry | VerAcerola | | | | | |
| الريحان | Basil | *Ocimum basilicum* | 10 | 90 | VL | H | 7 يوم |
| نبت الفاصوليا | Bean sprouts | *Phaseolus sp.* | 0 | 95-100 | | | 9-7 يوم |
| بنجر بالعروش | Beet, bunched | *Beta vulgaris* | 0 | 100-98 | VL | L | 14-10 يوم |
| بنجر بدون عرش | Beet, topped | | 0 | 100-98 | VL | L | 4 شهر |
| إنديفا (شيكوريا) | Belgian endive; witloof chicory | *Cichorium intybus* | 3-2 | 98-95 | VL | M | 2-4 |
| فلفل حلو (بيريكا) | Bell pepper, paprika | *Capsicum annuum* | 10-7 | 95 | L | L | 3-2 اسبوع |
| الشمام المر | Bittermelon; Biller gourd | *Momordica charantia* | 12-10 | 85-90 | L | M | 3-2 اسبوع |
| سلسيفاى سوداء | Black salsify; Scorzonera | *Scorzonera hispanica* | 1-0 | 85-90 | VL | L | 6 شهر |
| بلاك برى(توت برى) | Blackberries | Rubus spp. | (-0.5) - 0 | 90-95 | L | L | 6-3 يوم |
| السابوتا السوداء | Blaksapote | *Diospyrus ebenaster* | 15-13 | 85-90 | | | 3-2 اسبوع |
| برتقال بدمه | Blood orange | *Citrus sin ensis* | 7-4 | 90-95 | | | 8-3 اسبوع |
| بلوى برى | Blueberries | *Vaccinium corymbosum* | (-0.5) - 1 | 90-95 | VL | L | 18-10 يوم |
| الكرنب الصينى | Bok choy | *Brassica chinensis* | 0 | 95-100 | VL | H | 3 اسبوع |
| ثمرة الخبز | Breadfruit | *Adocarpus aitiis* | 15-13 | 85-90 | | | 6-2 اسبوع |
| البروكلى | Brocoli | *B. oleracea var. ltahca* | 0 | 95-100 | VL | H | 14-10 يوم |
| كرنب بروكسل | Brussel sprouts | B. oleracea var. Gemnifera | 0 | 95-100 | VL | H | 5-3 اسبوع |
| حزم الجزر | Bunched carrots | *Daucus carota* | 0 | 100-98 | VL | H | 14-10 يوم |
| التين الشوكى | Cactus fruit; Prickly pear fruit | *Opuntia spp.* | 5 | 85-90 | VL | M | 3 اسبوع |
| الواح تين شوكى | Cactus leaves, nopalitos | *Opuntia spp.* | 10-5 | 90-95 | VL | M | 3-2 اسبوع |
| كاميتو | Caimito, star apple | *Chsysophyllu m cainito* | 3 | 90 | | | 3 اسبوع |
| كلاموندين | Calamondin orange | *Citrus reticulata x Fortunella spp.* | 10-9 | 90 | | | 2 اسبوع |
| | Canistel eggfruit | *Pouteria cam pechiana* | 15-13 | 85-90 | | | 3 اسبوع |
| كانتلوب وشمام شبكى | Cantaloupes and other netted melons | *Cucurbita melo var. reticulatus* | 5-2 | 95 | H | M | 3-2 اسبوع |
| كارامبولا | Carambola, Starfruit | *Averrhoa carambola* | 10-9 | 85-90 | | | 4-3 اسبوع |
| جذور جزر | Carrots, topped | *Daucus carota* | 0 | 100-98 | VL | H | 8-6 شهر |
| شمام كاسابا | Casaba melon | *Cucurbita melo* | 10-7 | 85-90 | L | L | 4-3 اسبوع |
| تفاح الكاشو | Cashew apple | *Anacardium occidentale* | 2-0 | 85-90 | | | 5 اسبوع |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2-1 شهر | L | VL | 85-90 | 5-0 | *Manihot escuienta* | Cassava, Yucca manioc | كاسافا - اليوكا |
| 4-3 اسبوع | H | VL | 95-98 | 0 | *B. oleracea var.* | Cauliflower | القرنبيط |
| 8-6 شهر | L | VL | 95-100 | 0 | *Apium graveolens car._ Rapaceum* | Celeriac | الكرفس السيريلاكى |
| 2-1 شهر | M | VL | 98-100 | 0 | *Apium graveLens var._ Dulce* | Celery | الكرفس |
| 14-10 يوم | H | VL | 95-100 | 0 | *Beta vulgaris var. Cicla* | Chard | السلق |
| 6-4 اسبوع | | | 85-90 | 7 | *Sechium edule* | Chayote | الشايوت |
| 4-2 اسبوع | H | H | 90-95 | 13 | *Annona cherimola* | Cherimoya custard apple | القشطة شيروميا |
| 7-3 يوم | | | 90-95 | 0 | *Pranus cerasus* | Cherries, sour | الكريزالمر |
| 3-2 اسبوع | | | 90-95 | 0- (-1) | *Pranus avium* | Cherries, sweet | الكريز الحلو |
| 14-10 يوم | H | VL | 95-100 | 0 | *Brassica alboglabra* | Chinese broccoli; gailan | بروكلى صينى |
| 3-2 شهر | H | VL | 95-100 | 0 | *Brassica campestris var. Pekinensis* | Chinese cabbage; Napa cabbage | كرنب صينى |
| 2-1 اسبوع | L | VL | 90-95 | 0 | *Stachys affinia* | Chinese/ Japanese artichoke | خرشوف صينى/يابانى |
| 3-2 اسبوع | M | VL | 95-100 | 0 | *Allium schoenoprasum* | Chives | الشيفز |
| | M | L | 95-100 | 0 | *Album shoenoprasum* | Chives | الشيفز |
| 2 اسبوع | H | VL | 95-100 | 0.2 | *Coriandrum sativum* | Cilantro Chinese parsley | البقدونس الصينى |
| 2-1 شهر | | | 89 - 85 | 0-2 | *Cocos mucifera* | Coconut | جوز الهند |
| 14-10 يوم | H | VL | 95-100 | 0 | *B. oleracea var. Acephala* | Collards, Kale | الكرنب المشرشر |
| 8-5 يوم | L | VL | 95-98 | 0 | *Sea mays* | Corn sweet and baby | الذرة السكرية والصغيرة |
| 16-8 اسبوع | L | L | 90-95 | 2-5 | *Vaccinium macrocrpon* | Cranberry | كرانبرى |
| 3-2 اسبوع | H | M | 85-90 | 7-10 | *Cucurbita melo* | Crenshaw melon | شمام كرانشو |
| 14-10 يوم | H | L | 85-90 | 10-12 | *Cucunicus sativus* | Cucumber | الخيار |
| 4-1 اسبوع | L | L | 90-95 | (-0.5) - 0 | *Ribes sativum; R. Nigrum; R. rubrum* | Currants | الكرنث |
| 4 شهر | L | VL | 95-100 | 1-0 | *Raphanus sativus* | Daikon; oriental radish | الفجل الشرقى |
| 12-6 شهر | L | VL | 75 | 0-(-18) | *Phoenix dactylifera* | Date | التمور |
| 2-1 اسبوع | H | VL | 95-100 | 0 | *Anethurn graveolens* | Dill | الشبت |
| 8-6 اسبوع | | | 85-90 | 4-6 | *Durio zibethinus* | Durian | |
| 6-3 اسبوع | H | VL | 98-100 | 0 | *B. oleracea var. capitata* | Early crop cabbage | الكرنب محصول مبكر |
| 4-2 اسبوع | M | VL | 95-100 | 0 | *Cichorium endivia* | Endive escarola | الشيكوريا |
| 2-1 اسبوع | M | VL | 90-95 | 0-5 | *Chenepodium ambrosioides* | Epazote | |
| 2-1 اسبوع | | | 90-95 | 0 | *Vicia faba* | Faba, Broad beans | الفول الرومى |
| 3-2 اسبوع | L | M | 90 | 5-10 | *FeUoa sellow,ana* | Feijoa, pineapple guava | الفيجوا |
| 3-2 اسبوع | | H | 90-95 | 0-2 | *Foeniculurn vulgare* | Fennel; Anise | الفنوكيا |
| 10-7 يوم | L | M | 85-90 | (-0.5) - 0 | *Ficus car/ca* | Fig fresh | التين الطازج |
| 3-1 شهر | H | L | 90-95 | 10 | *Dispyros kaki* | Fuyu persimmon | |
| 7-6 شهر | L | VL | 65-70 | 0 | *All/urn sativum* | Garlic | الثوم |
| 6 شهر | L | VL | 65 | 13 | *Zin giber officinale* | Ginger | الزنجبيل |
| 3-2 اسبوع | L | VL | 95-100 | 0 | *Cynara acolyrnus* | Globe artichoke | الطرطوفة |
| 4-3 اسبوع | L | L | 90-95 | (-0.5) - 0 | *Ribes grossularia* | Gooseberry | جوز برى |
| 8-2 اسبوع | L | VL | 90-95 | (-0.5) - 0 | *Vitis vinifera* | Grape | العنب |
| 8-6 اسبوع | M | VL | 85-90 | 14-15 | *Citrus paradisi* | Grapefruit from dry areas | جريب فروت مناطق جافة |
| 8-6 اسبوع | M | VL | 85-90 | 10-15 | *Citrus paradisi* | Grapefruit from humid_ areas | جريب فروت مناطق رطبة |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| البصل الأخضر | Green onions | *Alliurn cepa* | 0 | 95-100 | L | H | 3 اسبوع |
| الجوافة | Guava | *Psidium guajava* | 5-10 | 90 | L | M | 3-2 اسبوع |
| الكاكى | Hachiya Persimmon | *Dispyros kaki* | 5 | 90-95 | L | H | 3-2 شهر |
| كيزان العسل | Honeydew, orange — flesh melons | *Cucrbita melo* | 5-10 | 85-90 | M | H | 4-3 اسبوع |
| فجل الحصان | Horseradish | *Arrnoracia rusticana* | 0-(-1) | 98-100 | VL | L | 12-10 شهر |
| الشطة (فلفل حريف) | Hot peppers Chiles | *Capsicum annuurn and C. Frutescens* | 5-10 | 85-95 | L | M | 3-2 اسبوع |
| جابوتى كابا | Jaboticaba | *Myrciaria cauliflora; Eugenia cauliflora* | 13-15 | 90-95 | | | 3-2 يوم |
| جاك فروت | Jackfruit | *Artocarpus heterophyllus* | 13 | 85-90 | M | M | 6-2 اسبوع |
| الطرطوفة | Jerusalem artichoke | *HeLianthus tube rosus* | (-0.5) - 0 | 90-95 | VL | L | 4 شهر |
| فاصوليا يام | Jicama, Yambean | *Pachyrrhizus erosus* | 13-18 | 85-90 | VL | L | 2-1 شهر |
| الجوجوبا | Jujube; Chinese date | *Ziziphusjujuba* | 2.5-10 | 85-90 | L | M | شهر |
| الكيوى | Kiwifruit; Chinese ooseberry | *Act mid/a chinensis* | 0 | 90-95 | L | H | 5-3 شهر |
| كولارابى | Kohirabi | *B. oleracea var. Gongylodes* | 0 | 98-100 | VL | L | 3-2 شهر |
| الكمكوات | Kumquat | *Fon'unellajaponica* | 4 | 90-95 | | | 4-2 اسبوع |
| الكرنب المتأخر | Late cabbage | *B. oleracea var. capitata* | 0 | 95-100 | VL | H | 6-5 شهر |
| كراث بشوشة | Leek | *A/hum porrum* | 0 | 95-100 | VL | M | 2 شهر |
| الليمون الاضاليا | Lemon | *Citrus Iimon* | 10-13 | 85-90 | | | 6-1 شهر |
| الخس | Lettuce | *Lactuca sativa* | 0 | 98-100 | VL | H | 3-2 اسبوع |
| فاصوليا ليما | Lima beans | *Phaseolus lunatus* | 5-6 | 95 | L | M | 7-5 يوم |
| ليمون مالح | Lime, Mexican, Tahiti or persian | *Citrus aurantifolia; C. Latifolia* | 9-10 | 85-90 | | | 8-6 اسبوع |
| لوبيا طويلة | Long bean yard-long bean | *Vigna sesguipedalis* | 4-7 | 90-95 | L | M | 10-7 يوم |
| اللونجان | Longan | *Dimocarpus Longan = Euphoria Longan* | 1-2 | 90-95 | | | 5-3 اسبوع |
| بشملة | Loquat | *Eriobot,yajaponica* | 0 | 90 | | | 3 اسبوع |
| باميا صينى | Luffa; Chinese okra | *Luffa spp.* | 10-12 | 90-95 | L | M | 2-1 اسبوع |
| الليشى | Lychee, Litchi | *Litchi chinenesis* | 1-2 | 90-95 | M | M | 5-3 اسبوع |
| مالنجا | Malanga; Tania, New cocoyam | *Xanthosoma sagittifohium* | 7 | 70-80 | VL | L | 3 شهر |
| سابوتا مامى | Mamey sapote | *Calocarpum mammosum* | 13-15 | 90-95 | H | H | 3-2 اسبوع |
| المانجو | Mango | *Man gifera indica* | 13 | 85-90 | M | M | 3-2 اسبوع |
| مانجوستين | Mangosteen | *Garcinia man gostana* | 13 | 85-90 | M | A | 4-2 اسبوع |
| بصل جاف | Mature onion bulbs | *A/hum cepa* | 0 | 65-70 | VL | L | 8-1 شهر |
| نعناع | Mint | *Mentha spp.* | 0 | 95-100 | VL | H | 3-2 اسبوع |
| عيش غراب | Mushrooms | *Agaricus; other genera* | 0 | 90 | VL | M | 14-7 يوم |
| الخردل الاخضر | Mustard greens | *Brassicajuncea* | 0 | 90-95 | VL | H | 14-7 يوم |
| النكتارين | Nectarine | *Prunus persica* | 0 - (-0.5) | 90-95 | M | H | 4-2 اسبوع |
| الباميا | Okra | *Abelmoschus esculentus* | 7-10 | 90-95 | L | M | 10-7 يوم |
| الزيتون الطازج | Olives, fresh | *OIea europea* | 5-10 | 85-90 | L | M | 6-4 اسبوع |
| البرتقال | Orange | *Citrus sinensis* | | | | | |
| برتقال المناطق الجافة | Orange from dry areas | *Citrus sinensis* | 3-9 | 85-90 | VL | M | 8-3 اسبوع |
| برتقال المناطق الرطبة | Orange from Fl. Humid regions | *Citrus sinensis* | 0-2 | 85-90 | VL | M | 12-8 اسبوع |
| توابل | Oregano | *Origanum vulgare* | 0-5 | 85-90 | VL | M | 2-1 اسبوع |
| الباباظ | Papaya | *Carica papaya* | 7-13 | 85-90 | | | 3-1 اسبوع |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| البقدونس | Parsley | *Petroselinum crispum* | 0 | 95-100 | VL | H | 2-1 شهر |
| الجزر الابيض | Parsnips | *Pastinaca sativa* | 0 | 95-100 | VL | H | 6-4 شهر |
| باشون فروت | Passion fruit | *Passiflora spp.* | 10 | 85-90 | VH | M | 4-3 اسبوع |
| الخوخ | Peach | *Prunus persica* | 0 - (-0.5) | 90-95 | H | H | 4-2 اسبوع |
| الكمثرى الاوروبية | Pear (American) | *Pyrus communis* | 0.5 - (-0.5) | 90-95 | H | H | 7-2 شهر |
| بسلة | Peas, pod | *Pisum sativum* | 0 | 95-98 | VL | M | 2-1 اسبوع |
| بيبينو(شمام كمثرى) قرع البرسيان | Pepino, melon pear | *Solanum muricatum* | 5-10 | 95 | L | M | 4 اسبوع |
| قرع البرسيان | Persian | *Cucrbita melo* | | 85-90 | M | H | 3-2 اسبوع |
| الاناناس | Pineapple | *Ananas* | 7-13 | 85-90 | L | L | 4-2 اسبوع |
| موز بلانتين | Plantain | *Musa paradisiaca var. paradisiaca* | 13-15 | 90-95 | L | H | 5-1 اسبوع |
| البرقوق والقراصيا الطازجة | Plums and prunes | *Prunus domestica* | 0 - (-0.5) | 90-95 | M | H | 5-2 اسبوع |
| الرمان | Pomegranate | *Punica granatum* | 5 | 90-95 | | | 3-2 شهر |
| البطاطس الربيعى | Potato, early crop | *Solanum tube rosum* | 10-15 | 90-95 | VL | M | 14-10 يوم |
| البطاطس النيلى | Potato, late crop | *Solanum tube rosum* | 4-12 | 95-98 | VL | M | 10-5 شهر |
| الليمون الهندى | Pummelo | *Citrus grandis* | 7-9 | 85-90 | | | 12 اسبوع |
| السفرجل | Quince | *Cydonia oblonga* | 0 - (-0.5) | 90 | L | H | 3-2 شهر |
| الفجل | Radish | *Raphanus sativus* | 0 | 95-100 | VL | L | 2-1 شهر |
| نبت بذور الفجل | Radish sprouts | *Raphanus sp.* | 0 | 95-100 | | | 7—5 |
| راسبرى | Raspberries | *Rubus idaeus* | 0 - (-0.5) | 90-95 | L | L | 6-3 يوم |
| الروتاباج | Rutabaga | *B. napus car. Napobrassica* | 0 | 10-98 | VL | L | 6-4 شهر |
| السلسفيل | Salsify; Vegetable oyster | *Trapopogon porrifohius* | 0 | 95-98 | VL | L | 4-2 شهر |
| السابودلا | Sapodilla chicosapote | *Achnas sapota* | 15-20 | 85-90 | H | H | 2 اسبوع |
| برتقال سيفيلى الحامض | Seville; sour orange | *Citrus sinensis* | 10 | 85-90 | L | M | 12 اسبوع |
| الشالوت (ابصال) | Shallots bulbs | *Ailium cepa var. ascalonicum* | 0-2.5 | 65-70 | L | L | |
| الفاصوليا الخضراء والبيضاء | Snapbean; wax; green | *Phaseolus vulgaris* | 4-7 | 95 | L | M | 10-7 يوم |
| البسلة السكرية | Snow peas | *Pisum sativum* | 0-1 | 90-95 | VL | M | 2-1 اسبوع |
| لوبيا علف | Southern cowpeas | *Vigna sinensis = V. Unguiculata* | 4-5 | 95 | | | 8-6 يوم |
| السبانخ | Spinach | *Spinacia oleracea* | 0 | 95-100 | VL | H | 14-10 يوم |
| نبت البذور المختلفة | Sprouts from seeds | *Diferente genera* | 0 | 95-100 | | | 9-5 يوم |
| القرع العسلى | Squash winter (harp ring); pumpkin | *Cucurbita moschata; C. Maxima* | 12-15 | 50-70 | L | M | 3-2 شهر |
| القرع الصيفى | Squash, summrS.3\ (soft rind); do&Ig4tte | *Cucurbita pepo* | 7-10 | 95 | L | M | 2-1 اسبوع |
| الفراولة | Strawberry | *Fragaria spp.* | 0 | 90-95 | L | L | 10-7 يوم |
| اصناف قشطة | Sugar apple; Custard apple | *Annona squamosa; Annona spp.* | 7 | 85-90 | H | H | 4 اسبوع |
| البطاطا | Sweetpotato yam” | *Ipomea batatas* | 13-15 | 85-95 | VL | L | 7-4 شهر |
| شجرة الطماطم | Tamarillo, tree tomate | *Cyphomandra betacea* | 3-4 | 85-90 | L | M | 10 اسبوع |
| التمر هندى | Tamarind | *Tamarindus indica* | 2-7 | 90-95 | VL | VL | 4-3 |
| اليوسفى التانجلو | Tangelo, Mineola | *Citrus reticulate* | 7-10 | 85-95 | | | 4-2 اسبوع |
| اليوسفى التانجرين | Tangerine, mandarin | *Citrus reticulata* | 4-7 | 90-95 | VL | M | 4-2 اسبوع |
| القلقاس | Taro; cocoyam; eddoe; Dasheem | *Colocasia esculenta* | 7-10 | 85-90 | | | 4 شهر |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الحرنكش | Tomatillo, Husk tomato | *Physahsixocarpa* | 7-13 | 85-90 | VL | M | 3 اسبوع |
| طماطم ناضجة | Tomato, firm-ripe | *Lycopersicon esculentum* | 8-10 | | L | | |
| طماطم في طور النضج الأخضر | Tomato, mature - green | *Lycopersicon esculentum* | 10-13 | 90-95 | VL | H | 3-1 اسبوع |
| القلقاس | Turnip root | *Brassica cam pastries var. Rapifera* | 0 | 95 | VL | B | 5-4 شهر |
| الكارسون المائى | Watercress garden cress | *Lepidium sativum Nasturtium officunales* | 0 | 95-100 | VL | H | 3-2 اسبوع |
| البطيخ | Watermelon | *Citrullus vulgaris* | 10-15 | 90 | VL | H | 3-2 اسبوع |
| السابوتا البيضاء | White sapote | *Casimiroa edulis* | 20 | 85-90 | | | 3-2 اسبوع |
| | Winged lean | *Psophocarpus tetragonolobus* | 10 | 90 | | | 4 اسبوع |
| اليام | Yam | *Dioscorea spp.* | 15 | 70-80 | VL | L | 7-2 شهر |

**إنتاج الاثيلين:** VL= منخفض جدا ,(< 0.1 µL/Kg.hr)

L = منخفض ,(0.1-1.0 µ L/Kg.hr)

M = متوسط ,(1 .0-10.0 µL/kg.hr)

H = مرتفع ,(10,0-100 µL/kg.hr)

VH = مرتفع جدا .(> 100 µL/ Kg.hr)

**الحساسية للايثيلين**

L = منخفض الحساسية

M = متوسط الحساسية

H = مرتفع الحساسية,(1 .0-10.0 µL/kg.hr)

## ملحق أ
## مجاميع الشحن المختلط للخضروات والفاكهة

| | أهم خصائص المنتجات وظروف تخزينها | محاصيل توجد على نطاق واسع | محاصيل محدودة الإنتشار |
|---|---|---|---|
| **المجموعة الأولى** | الفواكهة والخضر التى تخزن على درجة حرارة بين الصفر إلى2 درجة مئوية ورطوبة نسبية 90-95% ومعظمها منتج للأيثلين | التفاح-المشمش-الكمثرىالآسيوية اللفت (جذور لفت)- الكريزأوالكرز-قطع الفاكهة-التمور-التين(ليس مع التفاح)- العنب(غير المعامل بثانى اكسيد الكبريت)- البشملة المشروم أو عيش الغراب – النكتارين – الخوخ – الكمثرى – القشطة- البرقوق – الرمان – القراصيا- الفجل – الفراولة. | كريز باربادیوس الثمار التوتية (ماعدا الكرانبرى) -cai mito – عنب الزبيب أو المشمش – الجوسبرى – فجل الحصان – الكرنب أبو ركبة- الكرات اللونجان الليشى الجزر الأبيض الكاكى- السفرجل – الراسبرى – اللفت الأصفر (الربتاج) لفت السلجم الكاشو جوز الهند. |
| **المجموعة الثانية** | الفواكهة والخضر التى تخزن على درجة حرارة بين الصفر و2 درجة مئوية ورطوبة نسبية 90-100% وكثير منها حساس للأثيلين | اليانسون الخرشوف مهاميز الأسبرجس – اللفت- البروكلى – الكرنب – الجزر- القنبيط – الكرفس – البنجر – الكريز – الذرة السكرية – الخضراوات المقطعة- العنب (غير المعامل بثانى أكسيد الكبريت) ثمار الكيوى – الخضر الورقية – الكرات (ليبس مع التين أو العنب) – الخس النعناع – البصل الأخضر (ليس مع التين والعنب والمشروم أو الراوند أو الذرة – البقدونس البازلاء أو البسلة الرمان- اللوبيا السبانخ | نبت البرسيم الحجازى – زهور القطنية arugula – نبت الفول الهندباء البلجيكية – الثمار التوتية (ماعدا الكرانبرى) bokchoy – نبت بذور الكرنب -celeriac daikon الهندباء escarole فجل الحصان خرشوف القدس kailon الكرنب أبوركبة –lobok – الخردل الأخضر الجزر الأبيض –Raddichio الرواند – اللفت الأصفر جذور لحية التيس scorzonera الكرات الاندلسى turnips كستناء الماءwaterless |
| **المجموعة الثالثة** | الفواكهة والخضروات التى تخزن من صفر إلى 2 درجة مئوية ورطوبة نسبية 65-75% | البصل الجاف والثوم | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **المجموعة الرابعة** | الفواكة والخضر التى تخزن على درجة 5درجة مئوية ورطوبة نسبية 90إلى 95% | التين الشوكى -الكانتلوب أو القاوون – الكلامنيتن – الليمون الأضاليا . اليوسفى - البرتقال التانجلو . تنجازين | الأوراق الخضراء للتين الشوكى Caimito – الكرانبرى الليشيى – الكمكوات – Pepino -uglifruittamaril جذور اللأليكة |
| **المجموعة الخامسة** | الفواكة والخضروات التى تخزن على 7-10 درجة مئوية ورطوبة نسبية 85 إلى 95% حساسة لإضرار البرودة وكثير منها حساس للايثلين | الريحان – البقوليات – التين الشوكى – الكلاموندين – اللوبيا – الخيار الباذنجان – الجريب فروت- الجوافة – الليمون الأضاليا – الليمون البلدى المالح – اليوسفى – الباميا – الزيتون البرتقال – الفلفل البطاطس – القرع الصيفى _(ذو القشرة الناعمة) – التنجارين – القلقاس – البطيخ. | Babaco سيقان التين الشوكى Caimito Chayote الكرانبرى custard apple feihoa –durian granadilla – kwano haricor vert .malanga ثمار الباشون popino الأناناس الشادوك sugar apple التمر الهندى – التانجلو tomatillo winged bean ugli fruit |
| **المجموعة السادسة** | الفاكهة والخضراوات التى تخزن على 13-15 درجة مئوية ورطوبة نسبية 85 إلى 90 % حساسة للبرودة معظمها ينتج ايثلين بتركيز مرتفع. | الأفوكادو (أصناف محددة) الموز- الجريب فروت- الجوافة – الليمون الأضاليا – الليمون المالح المانجو – البطيخ (ماعدا الكانتلوب) الباباظ – الأناناس – القراع الشتوى الطماطم الناضجة. | Babaco- atemoyabitter melon – السابوتا السوداءboniato – ثمرة الخبز canistel – كارمبولا – الكاسافا – الشيراموايا- جوز الهند Feijoa جذور الزنجبيل granadilla jaboticaba جاكفروت مامى – حوز جندم 0 باشون فروت لسان الجمل rambutansapodilla santolsugar apple - tomatillo |
| **المجموعة السابعة** | الفواكهة والخضروات التى تخزن على 18-21 درجة مئوية ورطوبة نسبية 85-90 % | البطاطا الحلوة – الطماطم المكتملة النمو الخضراء – البطيخ. | Jicama -السابوتا البيضاء اليام. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **المجموعة الثامنة** | الأزهار والنباتات المزهرة التى تخزن على صفر إلى 2 درجة مئوية ورطوبة بنسبة 90-95 % | الإليم – الاسترالصينى) القرنفل الكريزانثيم – الكروكس – أبو خنجر – الفريزيا – الجردينيا – الصنوبر الارضى أبصال الايرس العرعر الزئبق – زئبق الوادى – النرجس –الورد – حشيشة الليمون – البسلة الحلوة – التيولب. | Aadiantum عصفور الأرز – أوركيد السيمنديم – السرخسيات – الجالاكس -الجارديناhyacinth- - البلوط الاخضر- الدبق أو الهدال – غار الجبل – عود الصليب (كثيف البراعم) ranunculus رودو ندرون – الحنظل Vaccinium – woodwardia fern – |
| **المجموعة التاسعة** | الأزهار والنباتات المزهرة والتى تخزن على درجة4.5درجة مئوية ورطوبة نسبية 90-95 % | الاكاسيا – الانيمون – الأستر (الصينى) – الاسبرجس (الناعم والخشن) البادالیا – كالنديولا الكاميليا – الكوزموس – الكروتون – الداليا- الدلفنيم – الدراسينا- الكافور – الأقحوان – الجلاديولس – الجبسوفيلا – الهيدرا- الماجنوليا – القطيفة. فيللوديندرين . الفلوكس البوتس. الستيفا . البنفسج. الزينيا | كزبرة البئر alstromeria خشب البأس – الكلا candytuff. الأقلرقية colombina القنطريون العنبرى . زهرة الربيع أذن الفأر – القمعية الأرجوانية gloriosa الحلنج .luine البليحاء العطرية البيتوسبوريم pittosproum الخشخاش – زهرة الربيع – البروطية scotch-broomen – ranunculus أنف العجل – زهرة اللبن الثلجية-syock- stephanotis – statice woodwardia fern –stock strawflower |
| **المجموعة العاشرة** | الأزهار والنباتات المزهرة التى تخزن على درجة 7-10 درجة مئوية ورطوبة نسبة 90-95 % | الأنيمون . عصفور الجنة – الكاميليا – النخيل | Eucharist- camaedora- gloriosa- godetia – podocarpus القرنفل الملتحى |
| **المجموعة الحادية عشر** | الأزهار ونباتات الزينة والتى تخزن على درجة 13-15درجة مئوية ورطوبة نسبية 90-95 % | الأنثريم – الزنجبيل – دفنبخيا | Heliconia البونسيته staghom fern |
| | | | |

**تم بحمد الله**