تخزين الخضار والفاكهة بالتبريد

بعد إعداد المحصول إعداداً جيداً في بيوت التعبئة أو الحقل يتم نقله إلى غرف التخزين حيث يحقق التخزين العديد من الأغراض :
– تنظيم تسويق الحاصلات البستانية – المحافظة على المحصول من التلف – إطالة فترة عرض وتسويق المحصول – تسهيل عمليات النقل والشحن– حفظ التقاوى بحالة جيدة حتى موعد زراعتها مثل درنات البطاطا والأبصال – تحسين المواصفات الاستهلاكية لبعض الثمار

طرق التخزين :

توجد طرق عديدة ومتنوعة لتخزين الحاصلات البستانية ويتم اختيار طريقة التخزين تبعاً لعدة عوامل أهمها :
١ – كمية المحصول ٢ – مدة التخزين المطلوبة ٣ – مدى توفر التكنولوجيا اللازمة لطرق التخزين الحديثة . وتقسم هذه الطرق إلى : طرق التخزين الطبيعية وطرق التخزين بالتبريد .

طرق التخزين الطبيعية :

وهي عبارة عن الطرق التي تستفيد من العوامل الطبيعية (الظروف الجوية الخارجية – التربة) في حفظ ثمار الفاكهة والخضار وعادة يستفاد من هذه الطرائق في فصلي الخريف والشتاء وفي الأشهر الأولى للسنة وغالباً ما تستخدم لتخزين الخضار الجذرية والملفوف وبعض أنواع الفاكهة بشكل محدود ومن هذه الطرق :

أولاً – التخزين على الأشجار :

وتتضمن ترك الثمار على الأشجار وعدم قطفها بعد النضج . وتختلف الثمار في مدى صلاحيتها للتخزين على الأشجار . إذ يمكن أن تستعمل هذه الطريقة في تخزين ثمار الحمضيات والرمان والبلح والتين وأحياناً التفاح والعنب خاصة عندما تكون الظروف الجوية ملائمة في تلك الفترة من السنة (درجات الحرارة المنخفضة نسبياً أو المعتدلة) . ويمكن إطالة فترة التخزين على الأشجار بتأخير ظهور طبقة الانفصال وذلك بمعاملة الثمار ببعض منظمات النمو مثل: 2-4 ثنائي كلور فينوكسي حمض الخليك.
2-4-5 ثلاثي كلور فينوكسي حمض الخليك .
وبالإضافة إلى تأخير تكوين طبقة الانفصال تعمل هذه المواد على منع تحول المواد البكتينية غير الذوابة (البروتوبكتين) إلى مواد بكتينية ذائبة حيث تبين أن تكوين طبقة الانفصال والتي تتشكل بين الثمار والفرع الثمري أو الفرع الحامل له علاقة بتحول المواد البكتينية غير الذوابة إلى مواد بكتينية ذوابة وبالتالي يمكن أن تبقى الثمار متصلة بالأشجار لفترة قد تصل إلى ٢-٣ أشهر مع المحافظة نسبياً على صلابتها .

ثانياً – التخزين في الحقل :

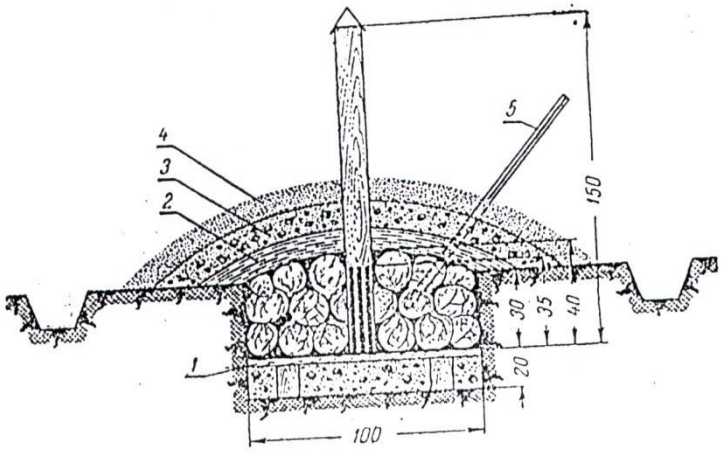
١ – التخزين في التربة : وفي هذه الطريقة يتم الإبقاء على المحصول في التربة وعدم حصاده حتى يتأمن تصريفه للأغراض المحددة وتتبع أحياناً في بعض الحاصلات البستانية الدرنية والجذرية كالبطاطا والبطاطا الحلوة .
٢ – التخزين في الظل : وذلك بوضع المحصول في مكان ظليل ومهوى لفترة قصيرة
٣ – طريقة الطمر في حفر وخنادق : ويتم فيها وضع الخضار بجذورها في حفرة سطحية بعمق ٢٠-٣٠ سم وطول ٣-٢٠ م وبحيث تكون الجذور للأسفل (بعضها يوضع بطبقة واحدة

كالملفوف الصيني وبعضها بعدة طبقات ٢-٣ مثل الكرفس الجذري) وتغطى بعدها بعوارض خشبية أو بأغصان جافة وثم يوضع فوقها القش ثم التراب على أن يترك فراغ بين الثمار والعوارض الخشبية حوالي ٨-١٠ سم وذلك من أجل التهوية . وفي حال حدوث الصقيع وانخفاض شديد بدرجة الحرارة يتم وضع طبقة أخرى من التربة ويتم إغلاق فتحات التهوية .

٤ – التخزين في أكوام : يوجد أشكال متعددة للتخزين في أكوام منها :

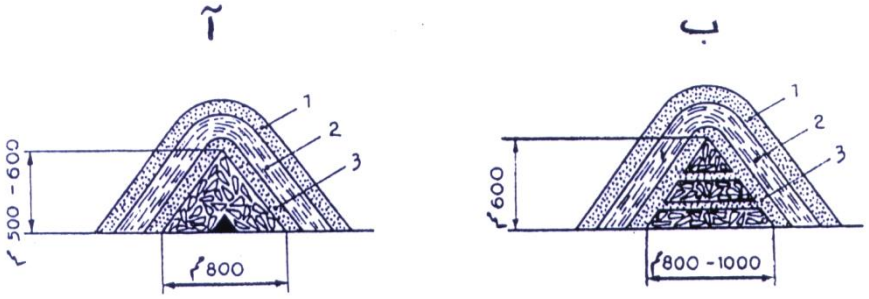
آ – كومة القش الترابية :

في حال إتباع هذه الطريقة من التخزين لا بد من مراعاة أن يكون مكان إنشاء الكومة خالياً من الماء الأرضي والرطوبة الزائدة إضافة إلى ضرورة خلوه من الحشرات الضارة بالمنتجات المخزنة . كما يفضل أن تكون التربة التي ستقام عليها الكومة رملية نفوذة . يتم وضع الخضار المراد تخزينها بشكل صفوف أو تجمع فوق بعضها ثم تغطى بالقش والتراب وأحياناً تغطى بالحصر المصنوعة من القش ثم توضع طبقة التراب . ويمكن استخدامها في تخزين الخضار الدرنية والجذرية والملفوفية وتتبع هذه الطريقة في المناطق ذات المناخ المعتدل وفي الأراضي الثقيلة وفي المناطق التي يصعب إنشاء خنادق فيها بسبب ارتفاع مستوى الماء الأرضي .



تخزين الملفوف في خنادق

١- أرضية من الخشب ٢- طبقة قش بسماكة ١٠ سم
٣- طبقة من التربة بسماكة ١٥ سم ٤- طبقة نشارة بسماكة ١٠ سم
٥- ترمومتر



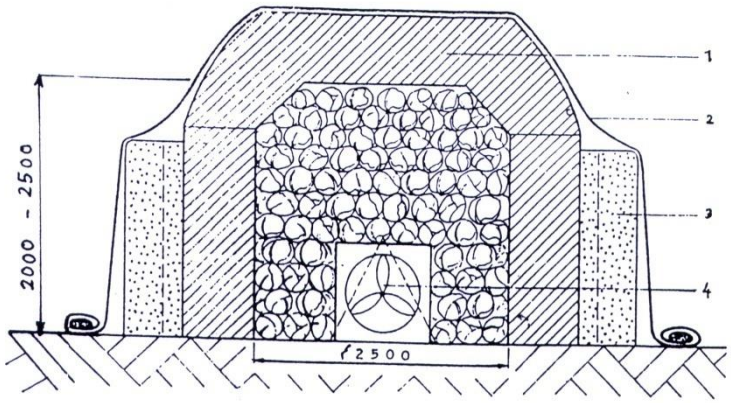
طريقة التخزين بالأكوام للخضار الجذرية (تغطية شتوية)

آ) مزودة بقناة تهوية (١) طبقة من التراب من ١٠ – ٢٠ سم
ب) بين طبقات من الرمل (٢) طبقة قس ٢٠ – ٣٠ سم
(٣) رمل أو تراب ١٠ سم

ب – طريقة الكومة الكبيرة المهواة :

حيث يتم تطوير إنشاء الكومة بحيث يزيد حجمها وسعتها وذلك لاستيعاب كمية أكبر من المحصول إضافة لإمكانية إجراء التهوية فيها .

ويستخدم من أجل تثبيت وتحديد الكومة في معظم الأحيان سور من الحجر أو أجزاء بيتونية جاهزة أو أية مواد مثبتة أخرى . ويمكن استخدام مثل هذه الأكوام في تخزين الملفوف العادي والخضار الجذرية .



كومة كبيرة مهواة التخزين الملفوف العادي

١) طبقة من القش بسماكة ٦٠ – ٩٠ سم ، ٢) غطاء من النايلون

٣) أعمدة من الاسمنت للتثبيت ، ٤) جهاز تهوية مع قناة للتهوية

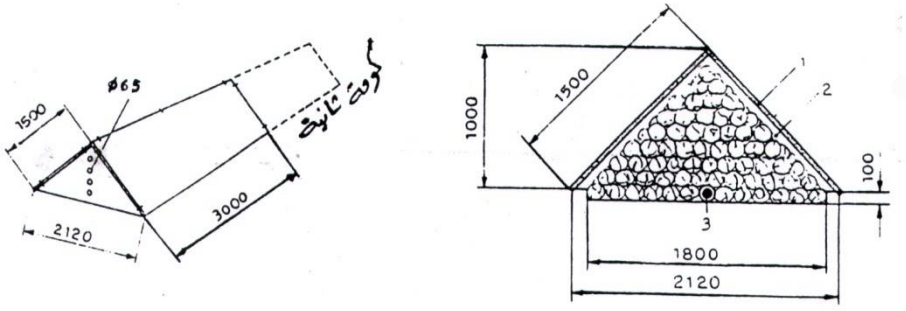
جـ - طريقة الكومة الفنية :

يتم في هذه الطريقة تغطية المحصول المخزن بواسطة رقائق البلاستيك الصناعية ومواد عازلة خاصة. ويبلغ طول الكومة حوالي ثلاثة أمتار ولها جانبان وجدران جملونية الشكل ويتم تشكيلها عادة على سطح مستوي بعمق ١٠سم وذلك ليتسنى العمل على تثبيت الجدران الجملونية بعوارض ومواد معدنية بشكل جيد .

ثالثاً – التخزين في الأقبية والمخازن العادية :

آ – التخزين في الأقبية :

يمكن الاستفادة من الأقبية في تخزين كثير من أنواع الفاكهة والخضار ويجب أن يكون القبو : محمي من الصقيع – بارد بشكل كافٍ – خالي من الروائح الغريبة والماء الأرضي – مهوى بشكل جيد عن طريق نوافذ متقابلة أو فتحات جدارية – قابل لاستخدام المكننة البسيطة أثناء إدخال وإخراج المحصول– محمي من الضوء .



الكومة الفنية (الأرقام بالميلمتر)

١- العوارض الجانبية٦٠مم ٢- فراغ بين المخزون والجدران مقداره ٥٠ مم ٣- قناة التهوية

ب – التخزين في المخازن العادية :

المخـــازن العاديـــة عبـــارة عـــن غـــرف يـــتم تهويتهـــا بـــالهواء الخـــارجي البـــارد (غالباً في الليل) وذلك للعمل على خفض درجة حرارة الغرفة أو المادة المخزنة في فصل الخريف والشتاء وبهذه الطريقة يمكن خفض درجة الحرارة في المخازن حتى +٤ م° ولذلك لا بد أن تكون الجدران والأسقف معزولة بمواد عازلة بشكل كاف وينبغي تبديل الهواء ٣٠ مرة في الساعة الواحدة من أجل التهوية والتبريد (أثناء الليل والأوقات الباردة) وذلك بواسطة قنوات تهوية موجودة في أرضية المخزن بحيث تبعد القناة عن الأخرى مسافة (٢م)

وعموماً يجب مراعاة عدة نقاط عند إنشاء المخازن العادية :

١ – يراعى إنشاء هذه المخازن في الأماكن التي يكون فيها مستوى الماء الأرضي منخفضاً لـ ٢م فأكثر من قاعدة المخزن) .

٢ - وجود نوافذ للتهوية تفتح ليلاً لتبريد جو المخزن وتغلق نهاراً .

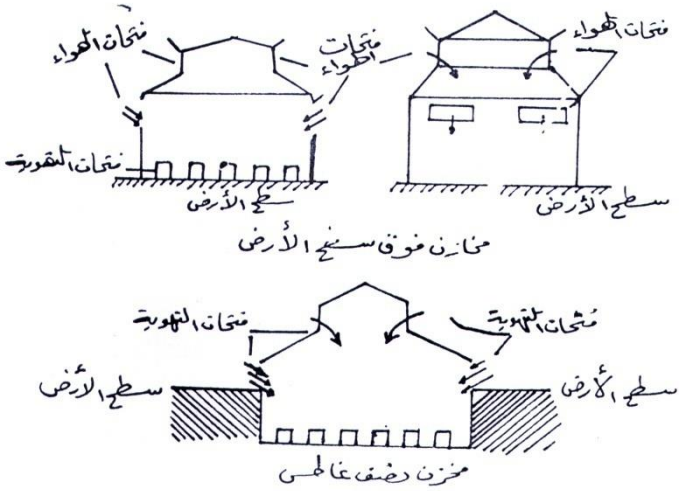
٣ – ضرورة وجود مراوح التهوية لتحريك الهواء ضمن المخزن .

٤ – يجب مراعاة عدم وجود الضوء في مثل هذه الغرف حيث تؤثر على الثمار وتفقد لمعانها وتتلف ألوانها وتفقد رائحتها كما يحصل في ثمار التفاح والإجاص. ويمكن تخزين بعض الثمار كالرمان أو البطيخ طوال فترة الشتاء برصها على رفوف .

وتستند هذه الطريقة أساساً على استغلال درجات الحرارة الجوية المنخفضة لتبريد وخفض درجة حرارة جو المخزن . فمن المعروف أن درجات حرارة الهواء تنخفض ليلاً عن درجات حرارة النهار في أغلب المناطق كما أن كثيراً من الأماكن والمناطق يكون جوها بارداً بدرجة تسمح بالتخزين خلال مدة أو فترة محددة من السنة خاصة بالخريف والشتاء ولذلك لا تصلح هذه الطريقة من التخزين إلا في بعض المناطق المناسبة . وللتخزين في مخازن عادية عدة طرق أهمها :

- التخزين فوق الأرض : حيث تبنى الغرف على سطح الأرض مع مراعاة وجود فتحات علوية للتهوية ووضع مراوح في أعلى الغرف لتحريك الهواء . تفتح ليلاً لتبريد جو الغرفة وتغلق نهاراً . وقد يوضع ثلج أمام المراوح للمساعدة في التبريد عند ارتفاع درجة الحرارة .

- التخزين تحت الأرض : حيث تبنى الغرف في هذه الحالة تحت الأرض ولا يظهر فوق الأرض سوى فتحات التهوية والمراوح .



بعض أنواع المخازن العادية

طرق التخزين الصناعية (التخزين بالتبريد) :

تعد عمليات التبريد من أفضل وأكفأ الطرق المستخدمة في تخزين وحفظ الحاصلات البستانية من ثمار فاكهة وخضار وذلك لإمكانية تخزينها على درجات حرارة منخفضة مما يساعد في منع أو تأخير حدوث التغيرات المختلفة التي تطرأ على الثمار بعد جمعها وبالتالي إبطاء عوامل الفساد التي تتعرض لها خصوصاً أثناء عمليات النقل والشحن والتصدير مما يترتب عليه وصولها إلى المستهلك في حالة طازجة . **ويعرف التبريد** : بأنه عملية امتصاص الحرارة من جسم لتخفيض درجة حرارته لأقل من درجة حرارة الجو المحيط وبالتالي هو نقل الحرارة من جسم حرارته منخفضة إلى وسط حرارته مرتفعة . والتخزين بالتبريد يعتمد على تخزين الثمار في غرف يمكن خفض درجة الحرارة فيها بطريقة صناعية أو ميكانيكية

ويقسم التبريد إلى نوعين أساسيين :

آ – طرق التبريد المحدودة المدى :

وهي طرق بسيطة وقليلة التكاليف إلا أن يعاب عليها قصر فترة حفظ الحرارة المنخفضة فيها ومن أهمها :

١ – التبريد باستخدام الثلج : يمكن استخدام الثلج للتبريد إذا كان رخيص الثمن وكان المكان المراد تبريده بعيداً نسبياً عن أماكن توليد الطاقة والكهرباء وكذلك عندما يراد إحداث التبريد على فترات قصيرة ويمكن أن يستخدم الثلج الكامل (قطع) أو مجروشاً ولكن غالباً ما يستخدم الثلج المجروش . يحتاج الثلج لانصهاره كمية كبيرة من الحرارة وتعرف بالحرارة الكامنة للانصهار ، حيث يمتص الغرام الواحد من الثلج أثناء انصهاره (٧٩,٩) حريرة (سعر صغير) وكثيراً ما يستخدم الثلج المجروش عند نقل بعض الحاصلات البستانية مثل البازلاء والخس وذلك بإحاطة المحصول بالثلج أثناء نقله أو يوضع الثلج في صناديق خاصة يدفع خلالها الهواء بواسطة مراوح ثم يمرر الهواء على الثمار . كذلك يمكن وضع طبقات من الثلج فوق طبقات المحصول عند تعبئته وبذلك يمكن حفظ المحصول .

٢ – مخلوط الثلج والملح : يستخدم مخلوط الثلج والملح عندما يراد الوصول إلى درجات حرارة أقل من الصفر المئوي ، وتعتمد درجة حرارة المخلوط على النسبة المئوية للملح .

جدول يبين النسبة المئوية للملح بالمخلوط ودرجة الحرارة

النسبة المئوي للمخلوط (%)	صفر	٥	١٠	١٥	٢٠	٢٥
درجة حرارة المخلوط (م°)	صفر	٢,٨-	٦,٧-	١١,٧-	١٦,٨-	٢٣,٣-

وتنخفض درجة حرارة المخلوط كون بلورات الثلج محاطة دائماً بغلاف مائي رقيق فعند إضافة الملح يذوب جزء منه في هذا الغلاف المائي ولكي تحاط البلورات بغلاف مائي آخر جديد يحتاج لحرارة لكي يتحول الماء من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة وهذه الحرارة تمتص من الوسط الموجود به الثلج والملح ولذلك تنخفض درجة حرارة الوسط .

٣ – الثلج الجاف (ثاني أكسيد الكربون) : يحدث التبريد بامتصاص الثلج الجاف للحرارة من المواد المراد تبريدها ويتحول من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية مباشرة دون المرور الحالة السائلة خلافاً لما هو عليه عند استعمال الثلج العادي . لذلك فهو لا يترك أثراً للماء على المنتجات التي يتم تبريدها .

تستخدم هذه الطريقة من التبريد بشكل خاص في نقل الخضار والفواكه في السيارات أو القطارات لأن الثلج الجاف ذو وزن خفيف ولا يترك أثراً للماء ولا يتفاعل مع جدران وسائل النقل وكذلك عديم الرائحة وغير قابل للاستعمال .

إلا أن استخدام هذه الطريقة بدأ يقل وذلك بسبب تراكم كميات كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكربون وتأثيراته السيئة على ثمار الخضار والفاكهة . إضافة للاعتماد الحالي على وسائل النقل المبردة ميكانيكياً (البرادات) .

ب – التبريد الميكانيكي (الصناعي) :

تعتبر طرق التبريد الميكانيكي أكثر الطرق استخداماً وتمتاز بأنها طرق غير محدودة المدى ويمكن التحكم فيها بدرجة الحرارة بدقة ولفترة طويلة ولكل محصول على حدى وفي أي وقت من أوقات السنة بغض النظر عن الظروف الجوية الخارجية وتبعاً للخصائص البيولوجية للثمار

مبدأ التبريد الميكانيكي :

يعتمد مبدأ التبريد الميكانيكي على استغلال الحرارة الكامنة لسوائل الغازات المتطايرة والتي تمتص جزءاً من حرارة الهواء بالوسط المحيط بها ويختلف هذا الجزء من الحرارة باختلاف كمية الحرارة الكامنة للتبخر لهذه الوسائل . وحتى تكون عملية التبريد اقتصادية فإنه يلزم إعادة تحويل الغازات المتطايرة إلى الحالة السائلة ليتسنى استخدامها مرة ثانية بالتبريد ولذلك يجب سحب الحرارة الكامنة لتكثيفها وإعادتها مرة أخرى إلى الحالة السائلة ويلزم لذلك ملامستها لجسم درجة حرارته أقل من درجة حرارة تبخر هذا السائل . وعن طريق استخدام خواص الغازات الترموديناميكية حيث نجد أنه عند ضغط الغاز ترتفع درجة حرارة تكثفه عن درجة حرارة الجو المحيط ولذلك يمكن ضغط الغاز المتطاير بعد عملية التبريد فترتفع حرارته مقارنة بالجو المحيط وبالتالي يتخلص من الحرارة الكامنة به وبالتالي تكثفه وتحوله إلى الحالة السائلة تحت ضغط مرتفع ويمكن تلخيص نظرية التبريد الصناعي بما يلي :

١ – عند تبخر السوائل فإنها تمتص الحرارة الكامنة اللازمة لذلك من حرارة الوسط المحيط بها وبالتالي يمكن أن نخفض درجة حرارة غرفة محددة الحجم ومعزولة جيداً عن الوسط الخارجي وذلك بتحرير سائل ونبخره ضمن حيز مغلق يعمل على امتصاص حرارته الكامنة من الغرفة كي يتحول إلى غاز .

٢ – إن درجة حرارة تبخر السوائل تعتمد بشكل أساسي على مقدار الضغط الواقع عليها فترتفع درجة حرارة التبخر بارتفاع الضغط وتنخفض بانخفاضه لذلك يمكن أن نتحكم في درجة حرارة غرفة ما بتنظيم مقدار الضغط الواقع على سائل التبريد الذي يمر ضمن الغرفة .

٣ – تتحول الغازات إلى سوائل عند تغير الضغط الواقع عليها عند درجات حرارة معينة وبذلك يمكننا تحويل الغازات التي نتجت عن تبخر سوائل التبريد ضمن غرفة التخزين إلى سوائل مرة أخرى وذلك بأن نغير مقدار الضغط الواقع عليها وبذلك يمكننا الاستفادة منها مرة ثانية . وهكذا تتم مثل هذه العملية بواسطة ضغط هذه الغازات بمكابس خاصة فترتفع حرارة تكثيفها عن الجو المحيط بها فيسهل التخلص من حرارتها الكامنة وتحويلها إلى الحالة السائلة .

سوائل التبريد (الغازات) المستخدمة بالتبريد الميكانيكي :

إن السوائل المبردة هي عبارة عن السوائل التي تتبخر عند تقليل الضغط الواقع عليها ، وتختلف هذه السوائل بخواصها الطبيعية والفيزيائية وتحدد أفضلية سائل التبريد تبعاً لهذه الخواص ويشترط في هذه السوائل ما يلي :

– انخفاض درجة حرارة التبخر والتكثيف – ارتفاع الحرارة الكامنة اللازمة لتبخرها (تحولها من سائل إلى غاز) – أن تكون عديمة التأثير على المعادن الملامسة لها والمستخدمة في صناعة أنابيب التوصيل والمكثفات والمبخرات – خلوها من الروائح النفاذة والكريهة وعدم قابليتها للاشتعال أو الانفجار – غير سامة ولا تتأثر بالرطوبة ولا تسبب أضراراً للحاصلات البستانية في حال تسربها - سهولة اكتشاف مواضع تسربها – سهولة حفظ أبخرتها لتحويلها للحالة السائلة .– اقتصادية الثمن . ومن أهم سوائل التبريد :

١ – النشادر NH_3 :

وهو أكثر سوائل التبريد انتشاراً وما زال يستعمل بكثرة في الوقت الحاضر وخاصة في الثلاجات ومراكز التبريد الكبيرة مع أنه سام وإلى حد ما قابل للاشتعال والانفجار عند ظروف محددة عندما يبلغ تركيزه بالهواء ١٣,١ -٢٦,٨ % وله رائحة نفاذة مخرشة ولذلك لا يستعمل بالثلاجات المنزلية . إلا أنه يتميز بخواص حرارية ممتازة ورخيص الثمن مما جعله وسيط التبريد المثالي في المنشآت الضخمة لمصانع الجليد ومخازن التبريد . نقطة غليانه ٣٣م^{o} بالضغط الجوي القياسي ، يشكل الأمونيا مع وجود الرطوبة هيدرات الأمونيا والتي تتفاعل مع المعادن غير الحديد مؤدية إلى تآكلها مثل النحاس ولذلك يجب عدم استعمال النحاس في مجموعات التبريد التي تعمل بالأمونيا وعادة تصنع أنابيب التوصيل في هذه الحالة من الصلب .

يمكن الكشف عن التسرب في المجموعات التي تعمل بالأمونيا باستخدام شموع من الكبريت لأنها تعطي دخاناً أبيضاً كثيفاً عند تلامسها مع بخار الأمونيا كما يمكن الكشف عن التسرب بدهان وصلات الأنابيب بمحلول الصابون حيث تظهر في مكان التسرب فقاعات في المحلول . إضافة للرائحة التي قد تكون دليلاً على التسرب .

٢ – ثاني أكسيد الكبريت SO_2 : ينتج من احتراق الكبريت ومن صفاته أنه سام ولكنه غير قابل للاشتعال أو الانفجار وعملياً بالوقت الحاضر لم يستخدم في التبريد إلا في بعض الوحدات القديمة لاستبداله بغازات الفريون

٣ – ثاني أكسيد الكربون CO_2 : ليس له رائحة وغير سام وغير قابل للاشتعال أو الانفجار يقتصر استخدامه حالياً في الوقت الحاضر على الاستعمالات التي تحتاج إلى درجات حرارة منخفضة جداً وبخاصة أثناء إنتاج الثلج الجاف وفي ثلاجات البواخر ولكن ضغط بخاره مرتفع وبالتالي يحتاج إلى أنابيب توصيل متينة جداً في جهاز التبريد . ويصعب الكشف عن تسربه .

٤ – كلور الميتيل CH_3CL : وهو غير سام سريع الاشتعال وقابل للانفجار وله تأثير مخدر . كثر سابقاً استعماله بالثلاجات المنزلية . ينحل بالماء ومكوناً كحول الميثايل السام وحمض كلور الماء الذي يسبب تلف المواد .

٥ – الفريونات : وهي عبارة عن مجموعة من التركيبات المشتقة من الميتان CH_4 ومن الإيتان C_2H_6 والتي يدخل في تركيبها ذرات مختلفة من الهالوجينات (الفلور – الكلور – إضافة للهيدروجين) وهي حالياً أكثر وسائط التبريد استعمالاً. **وأهم الفريونات** المستخدمة في التبريد:

* فريون 12 (ثنائي كلور ثنائي فلور الميتان CCL_2F_2) : يتميز بكونه غير سام وعديم الرائحة وغير قابل للاشتعال أو الانفجار وتركيبه الكيميائي مستقراً تماماً ودرجة غليانه تحت الضغط الجوي العادي (-٢٩,٨م^{o}) وسعته الحرارية كبيرة جداً .

* فريون 22 (أحادي كلور ثنائي فلور الميتان $CHCLF_2$) : تشبه مواصفاته الفريون 12 فهو غير سام وغير قابل للاشتعال وسعته الحرارية عالية جداً ودرجة غليانه -٤٠,٨ تحت الضغط الجوي العادي ويوجد أنواع أخرى من الفريونات أقل استخداماً

نظام التبريد الميكانيكي (الصناعي) :

للتبريد الميكانيكي نظامين : التبريد الصناعي بالامتصاص وهذا لم يعد يستخدم وقليل الانتشار والتبريد الصناعي بالضغط وهو الأكثر انتشاراً واستعمالاً لكفاءته العالية وبساطة تصميمه وجهاز التبريد بالضغط يتألف من الأجزاء التالية: .

١ – المبخر : يتكون من مجموعة من الأنابيب المصنوعة عادة من النحاس الأحمر أو الأصفر أو الصلب أو الألمنيوم ولكن يعد النحاس أنسب المعادن في حالة استخدام الفريون كسائل مبرد . في حين تستعمل أنابيب الصلب غير القابل للصدأ في حال استخدام النشادر أو ثاني أكسيد الكربون وذلك بسبب تأثير النشادر على النحاس وارتفاع ضغط بخار ثاني أكس الكربون .

يتحول سائل التبريد في أنابيب المبخر من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية حيث يوجد عادة المبخر ضمن غرفة التبريد (التخزين) ووظيفته الأساسية تتلخص بامتصاص الحرارة اللازمة لتبخر السائل المبرد من الجو المحيط به (من وسط التخزين وبالتالي المواد المراد تبريدها) .

٢ – الضاغط : وعادة يوجد خارج غرف التبريد وتنحصر وظيفته فيما يلي :

– إيجاد منطقة ضغط منخفض داخل ملفات المبخر نتيجة سحبه للغازات المتولدة عن امتصاص سائل التبريد لحرارة التبخير .

- إيجاد منطقة ضغط مرتفع داخل ملفات المكثف نتيجة لضغطه للغازات المسحوبة من المبخر.

- إيجاد فرق في مقدار الضغط الواقع على سائل التبريد وهذا يعمل على انتقال سائل التبريد من منطقة الضغط الجوي المرتفع (الغاز السائل في أنابيب التوصيل قبل الصمام) إلى منطقة الضغط المنخفض (أنابيب المبخر أو التمدد والانتشار) وبالتالي يعمل على استمرار دورة التبريد حيث يعمل المكبس بسحب الغاز من أنابيب المبخر عن طريق صمام التمدد و الانتشار .

٣ – المكثف : يوجد عادة خارج غرفة التبريد ووظيفته امتصاص الحرارة الكامنة من الغاز المضغوط وتحويله من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة مرة أخرى. وتصنع أنابيب المكثف من النحاس الأحمر باستثناء الحالات المستخدم فيها سوائل تبريد كالنشادر ، وثاني أكسيد الكربون حيث تصنع عندها من الصلب غير القابل للصدأ . وتزود عادة مواسير المكثف بزعانف لزيادة سطح التبادل الحراري مع الوسط الخارجي (شبكة التبريد) ويتم التبريد بإحدى الطريقتين :

- التبريد بالهواء :

حيث يتكون المكثف في هذه الحالة من أنابيب أفقية ذات زعانف رأسية وذلك في وحدات التبريد ذات الاستطاعة المنخفضة (٣ حصان كقوة محركة . البرادات والثلاجات المنزلية) ويدخل الغاز عادة من أعلى المكثف أما السائل الناتج يمر نحو الأسفل بفعل الجاذبية إلى مستودع تجميع السائل . ويكون المستودع في الثلاجات المنزلية صغير جداً (بضع سنتيمترات مكعبة فقط)، وقد يزود المكثف بمروحة موجهة نحو شبكة التبريد لتسريع التبادل الحراري.

- التبريد بالماء :

وفي هذه الحالة فإن المكثف يحوي على (١٤) أنبوباً (٧) منها يمر فيها الماء و(٧) الأخرى يمر فيها الغاز المضغوط وإن مسير الماء يكون معاكساً لسير الغاز فعند قدوم الغاز المضغوط من الضاغط وبصورة غازية يتقابل مع الأنابيب مما يؤدي إلى فقدان وسيط التبريد لحرارته . فيتكثف ويتجمع في مستودع تجميع السائل ومن ثم يتم دفعه بشكل سائل من جديد إلى أنابيب التبخير الموجودة في غرف التبريد فينتقل بواسطة صمام التمدد . أما الماء المستخدم في التبريد فينتقل في دارة مغلقة إلى برج التبريد حيث يتم تبريده من جديد ثم استعماله مرة أخرى وهكذا .

ويوجد أشكال متعددة من التبريد المائي منها مثلاً رش أنابيب الغاز المضغوط برذاذ من الماء الذي يعمل على تبريدها .

٤ – صمام التمدد (صمام الانتشار) : وهو صمام خاص يركب في نهاية أنبوب التوصيل الواصل إلى المبخر ضمن أنبوب التمدد والانتشار الموجود بالمبخر . وتنحصر وظيفته في :

- يعمل كفاصل بين منطقة الضغط المرتفع (السائل في أنابيب التوصيل) ومنطقة الضغط المنخفض (الغاز في أنابيب التمدد والانتشار بالمبخر) .
- يعمل على تخفيض الضغط المرتفع للسائل الموجود بالمستودع وذلك بتسريب جزءاً منه إلى أنابيب التبخر . وهذا يتحدد بمستوى ضغط الغاز في أنابيب المبخر .
- يعمل على تزويد المبخر بكمية محددة ومناسبة من سائل التبريد بحسب احتياجات التبريد .

٥ – مستودع السائل المبرد : وعادة يكون ذو حجم صغير في البرادات المنزلية وقد يستغنى عنه بأنابيب التوصيل الموجودة . أما في الثلاجات والبرادات الكبيرة فهو موجود بأحجام متناسبة مع ضخامة جهاز التبريد ويسمى القابلة .

٦ – أنابيب التوصيل : وهي الأنابيب التي يجري فيها الغاز من أنابيب التمدد والانتشار في المبخر إلى المكبس ثم إلى المكثف وإلى مستودع السائل وصولاً إلى صمام التمدد في المبخر .

٧ – أنابيب التمدد والانتشار : وهي الأنابيب التي ينفلت فيها السائل المبرد عبر صمام التمدد (الذي يحدد كميتها المتسربة) فيتحول داخلها إلى الحالة الغازية وهي موجودة داخل المبخر وتسمى أحياناً ملفات المبخر وعادة ما تكون بأقطار أكبر مقارنة بأنابيب التوصيل .

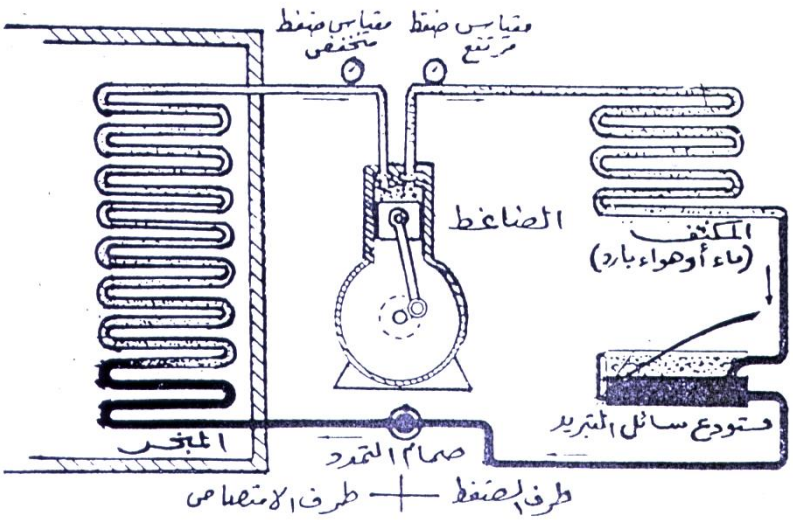
ويمكن تلخيص دورة التبريد بالضغط في الخطوات التالية :

١ – إن عمل المحرك (المكبس) في دورة التبريد مرتبط بالترموستات الحرارية الموجودة في غرفة التبريد فعند ارتفاع درجة حرارة غرفة التبريد تعمل الحساسات الحرارية على وصل التيار الكهربائي فعمل المحرك مؤدياً لسحب الغاز المتبخر في أنابيب التمدد والانتشار فيحدث فيها تفريغ وانخفاض بالضغط فيندفع سائل التبريد من مستودع السائل عبر أنابيب التوصيل من خلال صمام التمدد وبكميات محددة إلى أنابيب المبخر (وهو الجزء الموجود حوله المادة المراد تبريدها) وهنا يصبح ضغط السائل منخفضاً فيغلي السائل ويتبخر بسرعة (حيث تكون درجة حرارة تبخره منخفضة) داخل أنابيب التمدد بالمبخر . ولكي يتحول من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية يمتص الحرارة اللازمة لتبخره في الجو المحيط به وبذلك تنخفض درجة حرارة المادة المراد تبريدها .

٢ – يمر الغاز بعد ذلك إلى المكبس الذي يقوم بسحبه وضغطه فترتفع درجة حرارته وبالتالي حرارة تكثيفه ويندفع إلى المكثف بحالة غازية .

٣ – يتم بالمكثف تبريد الغاز كون المكثف أنابيبه محاطة بالماء أو بالهواء وعلى مساحة واسعة فيفقد الغاز حرارته الكامنة ويتحول إلى سائل تحت ضغط مرتفع ويتجمع في مستودع السائل ليدخل دورة التبريد مرة أخرى وهكذا .

٤ – عندما تنخفض درجة حرارة المواد المراد تبريدها حول المبخر إلى الدرجة المطلوبة تعمل الترموستات الحرارية فتفصل الدارة الكهربائية الموصولة للمحرك فيتوقف عن العمل وتتوقف عملية التبريد إلى حين ارتفاع درجة الحرارة إلى مستوى معين فتوصل دارة المحرك مرة أخرى فيعمل المحرك وتعمل دارة التبريد وهكذا .



الأجزاء الرئيسية لدورة التبريد الصناعي بالضغط

طرق التبريد :

تقسم عادة طرائق التبريد داخل وحدات التخزين ومصانع الأغذية تبعاً لطريقة مرور السائل المبرد وطريقة استخدامه داخل غرف التبريد وأهم الطرق الأساسية المستخدمة هي :

١ – طريقة التبريد المباشر :

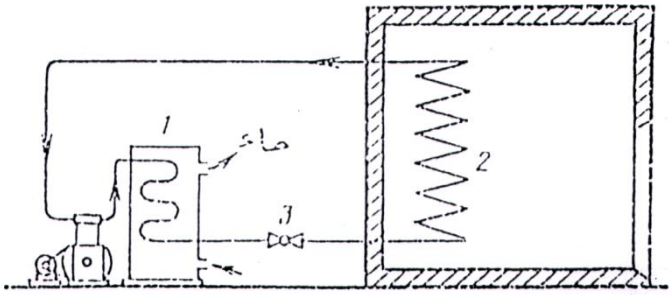
يمر السائل المبرد في هذه الطريقة داخل ملفات المبخر الذي يوجد عادة ضمن المكان المراد تبريده ، إذ يتبخر السائل المبرد داخل ملفات المبخر نتيجة لامتصاصه الحرارة مباشرة من الجو المحيط بالمواد المراد تبريدها . وتستخدم هذه الطريقة في غرف التجميد السريع لارتفاع كفاءتها وفي غرف التبريد الصغيرة لقلة تكاليف إنشائها وفي البرادات المنزلية الصغيرة . ولكن لهذه الطريقة عدة عيوب منها :

١ – ضرورة تشغيل وحدة التبريد بشكل مستمر (٢٤) ساعة يومياً لأن توقف وحدة التبريد يعني توقف عملية التبريد .

٢ – في حال تسرب جزء من السائل المبرد (غاز التبريد) في غرفة التبريد فإن ذلك يعرض المواد الغذائية المخزنة للتلف وكذلك احتمال إصابة العمال القائمين بتشغيل غرف التخزين وفي حال كون سائل التبريد قابلاً للانفجار أو الاشتعال فيخشى تعرض الوحدة بالكامل للاشتعال .

٣ – صعوبة الكشف عن مكان تسرب الغاز المبرد خصوصاً أن أنابيب وحدة التبريد تكون ممتدة بطول غرف التبريد مما يؤدي إلى ارتفاع تكاليف الصيانة .

٤ – لا يمكن استعمال رطوبة مرتفعة في جو التخزين وذلك لأن الرطوبة المرتفعة تتكاثف على مواسير التبريد (أنابيب التمدد والانتشار) وتتجمد عليها مما يستوجب إزالتها بصورة مستمرة



مخطط طريقة التبريد المباشر

١- مكثف ٢- مبخر ٣- صمام منظم

٢ – طريقة التبريد غير المباشرة (بواسطة المحلول الملحي) :

يستخدم في هذه الطريقة وسيط مبرد مثل المحلول الملحي (كلوريد الصوديوم أو كلوريد الكالسيوم) حيث يبرد المحلول أولاً عند ملامسته مواسير المبخر بعدها ينتقل المحلول الملحي المبرد بواسطة مضخات خاصة إلى غرف التبريد التي توجد بها المواد المراد تبريدها. وتزود مواسير المخلوط الملحي بخزانات احتياطية يوجد داخلها ملفات مبخر وحدة التبريد وتعتمد وظيفة هذه الخزانات الاحتياطية على درجة تركيز المخلوط الملحي إذ يمكن الوصول إلى درجة حرارة منخفضة جداً إذا كان تركيز المخلوط مرتفعاً دون أن يؤدي ذلك إلى تجمد المخلوط ويكون له القدرة على امتصاص كمية كبيرة من الحرارة أثناء توقف وحدة التبريد .

ومن ميزات هذه الطريقة :

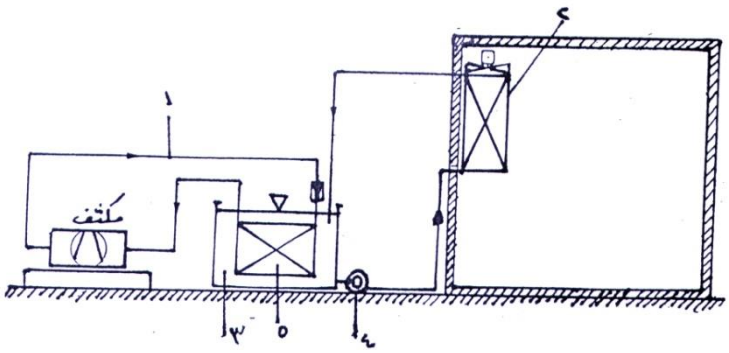
- بهذه الطريقة يمكن تشغيل وحدة التبريد ساعات محدودة في اليوم وذلك لأنه يمكن الاعتماد على كمية الحرارة التي تمتص بواسطة خزانات التبريد الاحتياطية .
- استبعاد تسرب غاز التبريد في غرف التخزين وزيادة عامل الأمان ضد الانفجار وذلك لانفصال وحدة التبريد عن غرف التبريد .
- سهولة الكشف عن مكان تسرب الغاز المبرد وذلك لأن وحدة التبريد تشغل حيزاً محدوداً .
- سهولة الكشف عن مكان تسرب المحلول الملحي .

ومن <u>عيوب</u> هذه الطريقة :

– ارتفاع تكاليف إنشائها وصيانتها وتشغيلها بسبب وجود العديد من الخزانات الاحتياطية وعدد كبير من أنابيب المحلول الملحي وبأطوال كبيرة مما يسبب ضياع كبير في طاقة التبريد مقارنة بالتبريد المباشر - قلة كفاءة التبريد بهذه الطريقة مقارنة مع طريقة التبريد المباشر وذلك بسبب وجود الوسيط المبرد (المحلول الملحي)

- لا ينصح باستخدام هذه الطريقة من التبريد في مخازن الثمار وذلك لحفظها درجة الحرارة إلى أقل من الصفر المئوي ومن جهة أخرى إلى وجود فروقات في درجة الحرارة بالأماكن المختلفة في غرفة التخزين تصل إلى (٢م°) وأكثر وذلك لانخفاض سرعة حركة الهواء .

٣ – التبريد الهوائي : وفي هذه الطريقة يمرر الهواء على أنابيب أنابيب المبخر أولاً : لكي تنخفض حرارته ثم يندفع في جميع مناطق غرفة التخزين بواسطة مراوح كهربائية ويكون التبريد بهذه الطريقة أكثر انتظاماً ويمكن عندها ترطيب غرف التبريد وجعل الرطوبة النسبية لا تقل عن ٩٠% عن طريق أجهزة الترطيب الخاصة وغالباً ما تستخدم هذه الطريقة في حالة التبريد على درجة الصفر المئوي أو أعلى قليلاً أي تستخدم أثناء تخزين منتجات الخضر والفاكهة .



طريقة التبريد غير المباشر

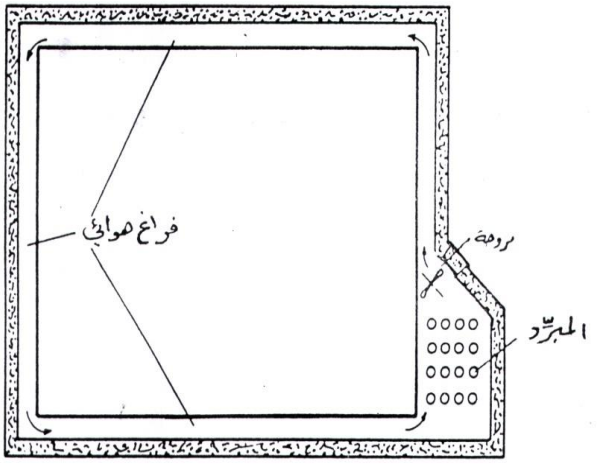
١- أنابيب توصيل السائل المبرد ٢- أنابيب المحلول الملحي

٣- المحلول الملحي ٤- مضخة ٥- المبخر

٤– التبريد بالفراغ أو الغلاف الهوائي : وفيها تحاط غرف التبريد من الداخل بفراغ هوائي يوضع ضمنه أنابيب التبريد ومراوح خاصة تعمل على توزيع الهواء المبرد بشكل منتظم في التجويف والتي تكون درجة حرارته قريبة من درجة حرارة غرفة . ومن ميزات هذه الطريقة منع انخفاض الرطوبة النسبية للهواء في غرفة التخزين والتي تحدث نتيجة تكاثف بخار الماء على سطح أنابيب التبخير وتجمده كما يحدث بالطريقة المباشرة أو التبريد الهوائي . وفي هذه الطريقة تبقى درجة حرارة الهواء ورطوبته على مستوى ثابت .

أما العيب الوحيد لهذه الطريقة أنها تسبب تعفن الثمار وإصابتها بالأمراض الفطرية بسبب ارتفاع الرطوبة النسبية للهواء .

طريقة التبريد بالفراغ الهوائي

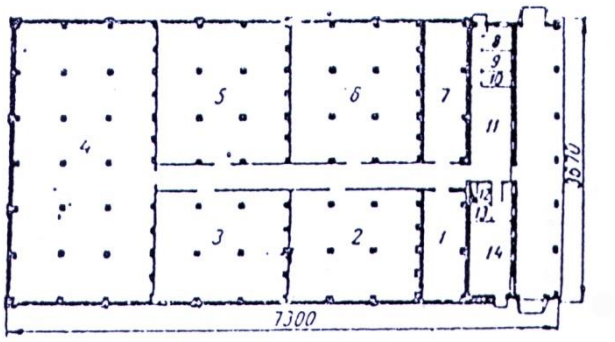


أقسام وحدة الخزن والتبريد :

توجد نماذج مختلفة من المخازن المستعملة في تبريد الثمار والخضار تتراوح سعتها من (١٠٠-١٤٠٠ طن). وبشكل عام يتكون مخزن التبريد من الأقسام التالية :

١ – غرفة القيادة والتشغيل . ٢ – غرفة الآلات (ضواغط – مكثفات – خزانات سوائل وغيرها) . ٣ – غرف التبريد . ٤ – غرفة الإصلاحات . ٥ – غرفة الإدارة . ٦ – غرف العمال . ٧ – غرف الاستلام والتسليم .

مواد العزل : يتوقف الاحتفاظ بدرجة الحرارة المنخفضة إلى حد كبير على المواد العازلة وهي مواد تغطى بها جوانب وأسقف غرف التبريد ويجب أن تتمتع بناقلية ضعيفة للحرارة لكي تمنع أو تخفض التبادل الحراري بين وسط التخزين والهواء الخارجي وأهم هذه المواد :



مخطط نموذجي لمكان خزن الفاكهة والخضار
بالتخزين الصناعي سعة (١٢٥٠ طن)

١ – **التفريغ التام للهواء :** يعتبر إزالة أو تفريغ الهواء الموجود بين جداري المخزن (الجدار المزدوج) من أفضل طرق العزل الحراري . إلا أن هذه الطريقة محدودة الاستعمال لارتفاع تكاليف التفريغ المطلوبة وتستعمل هذه الطريقة في زجاجات الحفظ (الترمس) التي تتكون من جدار زجاجي مزدوج تم تفريغ الهواء الموجود بين جداريه .

٢ – **الهواء :** الهواء الساكن مادة عازلة جيدة حيث وتنحصر طريقة استخدامه بعمل جدار مزدوج للبناء المراد المحافظة على درجة حرارته ثابتة ويحصر الهواء لمنع حركته (تيارات الحمل) بعمل حواجز صغيرة بين جوانب الجدران أو ملء الفراغات بين هذه الحواجز بمواد تحجز بين أجزائها جيوب هوائية صغيرة مثل نشارة الخشب أو التراب أو القش حيث تعمل هذه المواد على تقليل حركة الهواء ومنع تيارات الحمل التي من خلالها يتم نقل الحرارة .

٣ – **الفلين :** تزداد كفاءته بالعزل بزيادة مساماته الهوائية المقفلة ويستخدم على شكل ألواح

٤ – **الخشب :** يستعمل على نطاق ضيق لارتفاع سعره . وهو من المواد العازلة الجيدة وأحياناً يستعمل لإنشاء الجدران المزدوجة لغرف التبريد وتملأ الفراغات بنشارة الخشب . ولكن من عيوبه امتصاص الرطوبة بسرعة مما يفقده خاصية العزل ويمكن معالجة ذلك بطلاء الأوجه المعرضة للجو الرطب بطلاء خاص أو تغليفها بمواد عازلة للرطوبة مثل الورق الشمعي .

٥ – **الورق :** يتميز بخاصية عزل جيدة إلا أنه قليل الاستعمال ويقتصر استعماله في تغليف المواد العازلة الأخرى لحمايتها من الرطوبة .

٦ – **الصوف الزجاجي :** وهو من أفضل مواد العزل وأرخصها لاسيما أنه غير قابل للاحتراق ويوجد على شكل قوالب مضغوطة تطلى بمادة عازلة مثل الإسفلت السائل أو غيره لمنع تسرب الرطوبة داخلها ويستعمل كثيراً في الثلاجات المعدنية كالثلاجات المنزلية .

٧ – **السيليتون :** وهو خليط من الإسمنت والصود الكاوية والسلت بنسب معينة ويحضر على شكل ألواح تطلى بمواد عازلة . ويعتبر من مواد العزل الرخيصة الثمن إلا أنها أقل كفاءة بالعزل من الفلين .

٨ – **السيلوتكس :** وهي عبارة عن ألواح ناتجة من ضغط ألياف قصب السكر وتحضر على ألواح تطلى بمادة عازلة

٩ – مادة الستيريبور : وهي مادة بلاستيكية خفيفة رغوية بيضاء جيدة العزل ولا تتأثر بالقوارض والحشرات وكذلك رخيصة الثمن وسهلة الاستخدام ولذلك انتشر استخدامها على نطاق واسع في عزل مخازن التبريد المتوسطة والصغيرة الحجم . وإضافة لهذه المادة منتشر بالأسواق مواد أخرى كثيرة وغالباً مصنعة من مواد بلاستيكية رغوية ومصنعة بأشكال عدة متناسبة مع الاستخدامات المختلفة.

حمولة التبريد:

ويقصد بها مقدار الحرارة التي يلزم التخلص منها لحفظ المحصول في درجة الحرارة المنخفضة المناسبة طول فترة التخزين.

ويمكن تقسيم مصادر الحرارة اللازمة إزالتها من المحاصيل بالتبريد إلى :

آ – حرارة الحقل :

وهي كمية الحرارة الموجودة فعلاً في المحصول وقت الجمع وتتوقف إزالة حرارة الحقل وخفضها إلى الدرجة المطلوبة على عدة عوامل وهي :

- الحرارة الابتدائية للمحصول - الحرارة النهائية المرغوب تخزين الثمار عليها - الحرارة النوعية للثمار وأواني التعبئة والتغليف - وزن الثمار وأدوات التعبئة .

ب – الحرارة الحيوية:

وهي الحرارة المنطلقة أثناء عملية تنفس الثمار وتختلف كمية الحرارة الحيوية باختلاف أنواع وأصناف الثمار ويعود ذلك أساساً لاختلاف شدة التنفس وكلما ازدادت شدة التنفس ازدادت كمية الحرارة المنطلقة من الثمار ولذلك فإن كمية الحرارة المنطلقة من الثمار تزداد بارتفاع درجة حرارة التخزين .

جـ - الحرارة المتسربة :

تكتسب الغرف المبردة وعربات النقل كمية من الحرارة من الجو المحيط بها من خلال الأسقف والأرضيات والحوائط خاصة عندما تكون درجة الحرارة الخارجية مرتفعة مقارنة بحرارة جو التخزين وعادة تكون الحرارة المتسربة قليلة الأهمية في غرف التبريد الثابتة وذلك نظراً لكفاءة مثل تلك الغرف في عزل الحرارة وخاصة عندما يكون الفرق في درجات الحرارة بين الداخل والخارج غير كبير وتكون الحرارة المتسربة ذات أهمية كبيرة في عربات النقل المبردة . وتتوقف **كمية الحرارة المتسربة** على عدة عوامل أهمها :

– مساحة السطح الخارجي لعربات النقل وغرف التبريد – مقدار الفرق بين درجة حرارة الهواء الخارجي ودرجة حرارة الهواء داخل غرف التبريد وعربات النقل – معامل توصيل الحرارة لمواد العزل.

د – الحرارة المكتسبة :

تكتسب غرف التبريد الثابتة أو المتنقلة حرارة من مصادر متعددة مثل الحرارة المتولدة من أجهزة التبريد أو الحرارة المتولدة من الإضاءة داخل غرف التخزين أو الحرارة الناتجة من حركة العاملين ضمن غرف التخزين أو حرارة محركات مراوح التهوية غير أن هذه الحرارة لا تعطى أهمية لضآلة كميتها مقارنة بكميات حرارة الحقل والحرارة الحيوية والحرارة المتسربة لذلك لا تدخل عادة في حسابات حمولة التبريد .