

الباب الثانى عشر

التبريد والتجميد COOLING AND FREEZING

نظريات التبريد

الحفظ باستخدام درجات الحرارة المنخفضة :

ويقصد بذلك حفظ المواد الغذائية سواء الخام او بعد تجهيزها ، فى وسط ذو درجة حرارة منخفضة وبحيث تصل درجة حرارة المادة المراد حفظها الى درجة حرارة الوسط المحيط بها ، مع استمرار درجات حرارة كل من الوسط والمادة المحفوظه على الدرجة المراد تخزينها عليها، اى الدرجة المناسبه . هذا وقد استخدمت هذه الطريقه من طرق الحفظ فى حفظ الكثير من الاغذية لبيعها فى كثير من المناطق القطبيه ، الا انه فى المناطق الاخرى التى لاتتوفر فيها هذه الظروف فتستخدم عمليات تبريد صناعية . ويمكن تعريف التبريد بأنه عملية امتصاص الحرارة من جسم فى درجة حرارة اقل من درجة حرارة الجو المحيط به ، او هو عملية نقل الحرارة من جسم ذو درجة حرارة منخفضة الى جسم ذو درجة حرارة مرتفعه .

ونتيجة للفتاوت فى درجات الحرارة التى يمكن الوصول اليها واستخدامها فى حفظ الاغذية فانه يختلف التأثير الحافظ لهذه الدرجات على الاغذية المختلفه تبعاً لعوامل فسادها . فاذا استخدمت درجات حرارة تبلغ حداً من الانخفاض يكفى لتجميد المادة الغذائية ولن يتم ذلك الا باستخدام درجات حرارة اكثر انخفاضاً من درجات تجميد هذه المواد ويطلق على هذه الطريقة اسم الحفظ بالتجميد Freezing Preservation وعادة تتراوح درجات حرارة تجميد الاغذية بين -2°C الى -28°C .

الوسائل المستخدمه فى خفض درجات الحرارة :

تختلف الوسائل التى تصلح لخفض درجات حرارة كل من وسط التبريد والمادة المراد حفظها عن طريق استخدام درجات الحرارة المنخفضه باختلاف ظروف عملية التبريد ذاتها والمادة المراد حفظها ودرجات الحرارة المنخفضة المطلوب الوصول اليها وكذلك باختلاف امكانيات العمليه ذاتها ، ويقسم التبريد الى نوعين اساسيين هما :

أولا : التبريد الطبيعى :

١- استخدام الثلج العادى :

يستخدم الثلج كوسيط تبريد فعال عند درجات حرارة انصهاره تحت الظروف الآتية :

- ١- عندما يراد احداث التبريد على فترات قصيرة .
- ٢- بعد المكان المراد عمل التبريد به عن اماكن توليد الطاقة الكهربائيه .
- ٣- رخص سعر الثلج .

ودرجة حرارة انصهاره حوالى الصفر المئوى ، فاذا وجد فى جو حار فينصهر بامتصاص كمية من حرارة الجو وبالتالي يتم تبريده . الا انه غالبا لا يمكن ، عن طريق استخدام الثلج وحده مهما زادت الكمية المستخدمة بالنسبة للحيز المراد تبريده ، الوصول بدرجات الحرارة الى درجات اقل من صفر الى -4°م . لذلك فانه لا يوفى باغراض التبريد لمدة طويلة نسبيا او لحيازات كبيرة نوعا بطريقة يمكن استخدامها فى التبريد تجاريا ، هذا الى جانب الحاجة الى استمرار استخدام كميات من الثلج بصفه مستمره مع ضرورة التخلص من الماء الناتج عن الانصهار كذلك فان وصول جزء من الماء المنصهر الى المادة المراد تبريدها يؤدي الى رفع نسبة الرطوبة بها الى جانب اعتبار الثلج نفسه أحد مصادر التلوث لبعض الاغذية ، لذلك فان هذه الوسيلة لاتفى باغراض التبريد التجارى الا انها لازالت تستخدم فى بعض الحالات المحدودة فى تبريد الفاكهه والخضروات لامتناس حرارة الحقل وكذلك فى تبريد اللحوم والاسماك للتخلص من الحرارة المنبعثه منها .

ملحوظة :

وتقدر الحرارة الكامنه اللازمه لانصهار رطل واحد من الثلج العادى ١٤٤ وحدة حراريه بريطانيه ، وتلك اللازمه لكيلوجرام واحد من الثلج العادى ٧٩ . ٩ كيلو كالورى .

ب- استخدام المخاليط المبرده :

والتي اهمها مخلوط الثلج والملح خاصة عند وجود كل من الثلج والملح فى حالة مجروشه . وتعتمد درجة حرارة المخلوط على النسبه المئويه للملح فى المخلوط ، حيث انه من المعروف طبيعيا انه كلما زادت نسبة الملح بالنسبه للثلج كلما امكن الوصول الى درجات حرارة اكثر انخفاضا . وتفسير هذه الظاهرة على اساس الخواص

الطبيعيه لبلورات الثلج مما يجعل الماء المنصهر المتخلف فى حالة مرتبطة وبذلك يلزم وجود طبقة اخرى من الماء لتغليف بلورات الثلج وهذا لن يحدث الا نتيجة لانصهار كمية اخرى من الثلج الذى لا يتم الا بامتصاص كمية مناسبة من الحرارة سواء من الثلج المجاور او من الوسط المحيط بصفه عامه مما يؤدى فى النهايه الى امكان الوصول الى درجات الحرارة المنخفضه ويساعد ذلك كما سبق زيادة سطح الثلج المعرض اى وجوده فى صورته مجروش .

والجدول الأتى جدول (١٢-١) يبين العلاقه بين النسبه المئويه للملح فى المخلوط ودرجة حرارة المخلوط :

جدول (١٢-١) درجة حرارة تجمد مخاليط الثلج والملح

درجة حرارة المخلوط		النسبه المئويه للملح فى المخلوط (نسبه وزنيه)
م°	ف°	
٢٢	صفر	صفر
٢٧	٢ر٨-	٥
٢٠	٦ر٨-	١٠
١١	١١ر٧-	١٥
١ر٥	١٦ر٨-	٢٠
١٠ -	٢٢ر٢-	٢٥

الثلج الجاف (ثانى اكسيد الكربون) : Dry Ice

ويحدث التبريد بامتصاص الثلج الجاف للحرارة من المواد المراد تبريدها ويتحول الثلج الجاف من حالته الصلبه الى حالة غازيه مباشره وبدون تحوله الى سائل فلا يترك آثار من الماء كما يحدث عند استعمال الثلج . وقدرت الحرارة الكامنه اللازمه لتحويل رطل واحد من الثلج الجاف الى غاز (بين درجة حرارة - ١٠.٦ الى - ١٢٢°ف) فوجد انها تساوى ٢٤٦ر٢ وحدة بريطانيه . والحراره الكامنه اللازمه لتحويل كيلوجرام واحد (بين درجة حرارة - ٧٧ الى - ٨٦°م) ، تساوى ١٣٦ر٧ كالورى .

ويستخدم الثلج الجاف بصفه خاصه فى نقل الخضر والفاكهه بالسيارات او بعربات السكك الحديدية اذ ان وزنه خفيف ولايتترك اثرا للماء ولا يتفاعل مع جدران السيارات كما انه عديم الرائحة وغير قابل للاشتعال .

ثانيا : التبريد الصناعى :

ويعتمد على استغلال الحرارة الكامنه للسوائل المتطايره التى تمتص عند تبخيرها جزءا من حرارة الهواء المحيط بها ويختلف مقدار هذا الجزء باختلاف كمية الحرارة الكامنه لهذه السوائل . ولكى تكون عملية التبريد اقتصادية فانه يلزم تحويل السوائل بعد تطايرها الي الحاله السائله حتى يمكن استخدامها مره اخرى . وهذا معناه انه يجب سحب الحرارة الكامنه لتكثيفها الي سائل مره اخرى وذلك يستلزم ملامستها لجسم درجة حرارته اقل من درجة حرارة تبخر هذه السوائل . ويمكن الوصول الي هذا الغرض باستخدام خواص السوائل الثرموديناميكيه فنجد انه عند ارتفاع الضغط الواقع على السائل ترتفع درجة حرارة تكثيفه عن درجة حرارة الجو المحيط به وينتج عن ذلك التخلص من الحرارة الكامنه به وتكثفه الي سائل تحت ضغط مرتفع .

ويمكن تلخيص نظرية التبريد الصناعى بالقوانين الآتية :

- ١- تمتص السوائل عند تبخرها الحرارة الكامنه اللازمه للتبخر من حرارة الهواء المحيط بها ، وبذلك يمكننا خفض درجة حرارة غرفة محدوده الحجم معزوله عن الخارج بان نمرر داخلها سائل يمتص حرارته الكامنه من الغرفه لى يتحول الى غاز .
- ٢- تعتمد درجة حرارة تبخر السائل على الضغط الواقع عليه فترتفع درجة حرارة التبخر بارتفاع الضغط وتنخفض بانخفاضه وبذلك يمكننا ان نتحكم فى درجة حرارة الغرفه بان ننظم مقدار الضغط الواقع على سائل التبريد الذى يمر داخل الغرفه .
- ٣- تتحول الغازات الي سوائل عند تغيير الضغط الواقع عليها عند درجات حرارة معينه ، وبذلك يمكننا تحويل الغازات الناتجة عن تبخر سوائل التبريد داخل الغرفه الي سوائل مره اخرى وذلك بتغيير الضغط الواقع عليها والاستفاده منها مره اخرى بامرارها داخل الغرفه وهكذا . وتتم هذه العمليه بواسطه ضغط الغازات الناتجة عن تبخر السائل بواسطه مكابس خاصه وبذلك ترتفع درجة حرارة تكثيفها عن الجو المحيط بها فيسهل التخلص من حرارتها الكامنه وتحويلها الي الحاله السائله .

أنواع السوائل المبردة : Refrigerants

هى السوائل التى تتبخّر عند تقليل الضغط الواقع عليها وهى متعددة الانواع ويشترط فيها :

- ١- انخفاض درجة حرارة التبخر والتكثيف .
 - ٢- يلزم لتبخرها او تكثيفها كمية كبيرة من الحرارة الكامنة .
 - ٣- سهولة ضغط ابخرتها لتحويلها الى الحالة السائلة .
 - ٤- ذات حجم نوعى صغير (كثافتها عالية) .
 - ٥- عديمة التأثير على المعادن الملامسه لها .
 - ٦- خلوها من الرائحة النافذه وعدم قابليتها للالتهاب او الانفجار .
 - ٧- سهولة اكتشاف مواضع تسربها .
 - ٨- اقتصاديه فى الثمن .
 - ٩- غير سامه .
 - ١٠- لاتتأثر بالرطوبه .
- والسوائل الشائعه الاستعمال فى التبريد الصناعى تشمل ماياتى :-
- ١- الفريون بجميع مركباته (فريون ١١ - ١٢ - ٢١ - ٢٢ - ١١٣ - ١١٤) .
 - ٢- ثانى اكسيد الكبريت .
 - ٣- ثانى اكسيد الكربون .
 - ٤- النشادر .
 - ٥- كلوريد الميثيل .
 - ٦- البيوتان .

وقد لاحظ علماء الفيزياء والبيئه على مدى نصف القرن الماضى أن هناك تغير ملحوظ فى درجات الحرارة وكمية الاشعاعات على سطح الكره الأرضيه . وحيث أنه من المعروف علميا بأن هناك طبقه كثيفه تسمى طبقه "الأوزون" تمثل غطاءً كيماويا فى الأجواء العليا . وهذه الطبقة تساهم فى حماية كوكب الأرض عن طريق تحديد حجم الأشعه فوق البنفسجيه التى تصل إليه من أشعه الشمس وأن أى زيادة فى هذه الأشعه تتسبب فى تهديد حياة الانسان والحيوان والنبات نتيجة للتغير الجذرى فى الطقس على سطح الأرض مع سقوط الأشعه الضارة من الشمس .

ومن خلال الدراسات التى أجريت على هذه الظاهره تبين أن هناك تفاعلات نتجت عن استخدام الأيروسولات عامة وغازات الفريون بأنواعها فى إحداث ثقب فى طبقه الأوزون .

وقد قامت الوكالة الدولية للأرصاء الجويه بمراقبة إتساع ثقب الأوزون على مدى الأربعين عاما الماضية والتي قد بلغت مساحته الآن حوالى عشرة ملايين كيلومتر مربع وهى توازى مساحة القارة الأوروبية تقريبا . وأكدت الوكالة أن مساحة الثقب الذى اخترق طبقة الأوزون فوق المنطقه القطبيه الجنوبيه قد تضاعف خلال العام الماضى وأنه فى اتساع مستمر بمعدل ٨٪ يوميا .

ونتيجة لذلك إتخذت المنظمه الدوليه للبيئه التابعه للأمم المتحده عدة قرارات والتي من بينها إيقاف استخدام غازات الفريون تدريجيا بحيث يتم ذلك الإيقاف نهائيا بنهاية القرن الحالى .

وقد تم التوصل إلى بدائل لهذا الغاز حديثا بغاز تبريد سمي R134a (Refrigerant 134a) تركيبه الكيماي Tetrafluoroethan 1, 1, 1,2 ورمزه $CH_2 F C F_3$ وأعطى الاسم التجارى Reclin 134a وله نفس الخصائص الطبيعيه والكيماييه لموانع التبريد الأخرى ويتميز عن موانع مركبات الفريون من حيث الغازات والأبخرة الناتجه عنه لا يحدث عن تفاعلها مع طبقات الجو العليا إختراق لطبقة الأوزون الحاميه للأرض من الاشعاعات الضاره . وتوجد شركات متخصصه فى انتاج هذه الموانع وتأخذ رموز تعبر عن كل شركة مثل G, R

ويجب مرعاة النقاط الآتية عند اختيار سائل معين لاستعماله بوحدهات التبريد المختلفه :

١- التفاعلات الكيماييه :

ينعدم تأثير ثانى اكسيد الكبريت على الصلب والنحاس اذا كان جافا تماما ، اما اذا وجدت بعض الرطوبه فيتحول ثانى اكسيد الكبريت الى حامض الكبريتون الذى يتسبب وجوده فى تآكل المواسير الصلب والنحاس والسبائك المشابهه ، غير ان وجود الرطوبه مع سائل النوشادر لا يؤثر بتاتا على المعادن المختلفه .

٢- وجود رطوبة بوحدهات التبريد :

يذوب الماء فى ثانى اكسيد الكبريت وثانى اكسيد الكربون والنشادر وبذلك عند مرور الغاز المحمل ببخار الماء بالمناطق التى تنخفض فيها درجات الحرارة ، لايتجمد الماء فلا يحدث انسداد فى مواسير او صمامات التحكم الخاصه بوحده التبريد . ويحدث عكس ذلك بالنسبه للفريون بجميع مركباته اذ ان الماء لا يذوب فى هذه المركبات ، ووجود الرطوبه يسبب انسداد المواسير حيث يتجمد ويهدد حدوث انفجار

بوحدة التبريد خصوصاً في المناطق التي يكون بها الضغط مرتفع ويوضع عادة في مواسير سائل الفريون مرشح لامتناس الرطوبة التي قد تكون عالقة به حتى لا تتعرض وحدة التبريد لاختار حدوث انسداد في المواسير .

ويعتبر سائل الفريون من اكثر السوائل استعمالاً ، ويوجد عدة مركبات له يرمز لها بارقام مختلفه هي في الواقع اسمائها التجارية مثل فريون ١١ ، ١٢ ، ٢١ ، ٢٢ ، ١١٣ ، ١١٤ وتمتاز جميع سوائل الفريون بانها غير سامه وغير قابله للاشتعال او الانفجار الا انها تتسبب في اتساع ثقب الأوزون ويجري حالياً تعديلها واستبدالها بنوعيات اخري ليس لها هذا الاثر .

النظم الرئيسي للتبريد الصناعي :

أولاً : التبريد الصناعي بالضغط : Compression System

ويعتبر من الطرق الشائعة الاستعمال في الاغراض المنزليه والتجاريه نظراً لكفاءتها العاليه وبساطه تصميمها ، وتتلخص دورة التبريد بالضغط في الخطوات الآتية :

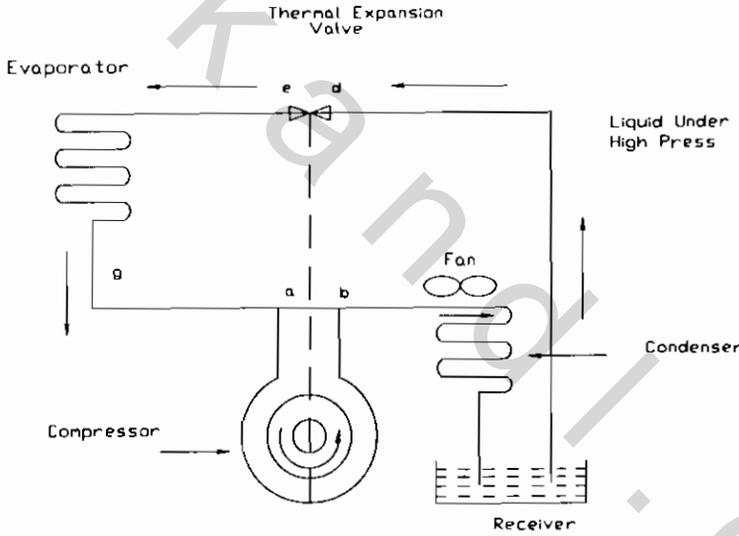
١- تبخر السائل المبرد تحت ضغط منخفض حيث يمر السائل في انابيب المبخر Evaporator (الجزء الذي توجد حوله ماده المراد تبريدها) ويكون ضغط السائل منخفضاً فتكون درجة حراره تبيخيره منخفضة ولكن يتحول من الحاله السائله الى الحاله الغازيه يمتص الحراره اللازمه لتبيخيره من الجو المحيط به وبذلك تنخفض درجة حراره ماده المراد تبريدها .

٢- ضغط الغاز الناتج لرفع درجة حراره تكثيفه ويتم ذلك بواسطه ضاغط الغاز ، وتكون وظيفه الضاغط خفض ضغط الغاز في المبخر من جهة ورفع ضغطه في الجهه الاخرى من الضاغط وبذلك ترتفع درجة حراره الغاز عند درجة حراره المنطقه المحيطه به .

٣- تكثيف هذا الغاز على درجة حراره مرتفعه حيث يمر الغاز داخل انابيب المكثف التي تكون محاطه بالماء او الهواء وينتج عن ذلك ان الغاز يفقد حرارته الكامله ويتحول الى سائل تحت ضغط مرتفع ويجمع السائل الناتج في مستودع او قابله Receiver ويكون الماء المستخدم في التكتثيف عادة على شكل رذاذ من رشاشات (دش) ويمكن اعاده تمريره بواسطه طلمبه صغيره . ويكون المكثف في الوحدات الكبيره على شكل مبادل حرارى يحيط بمواسير السائل المبرد ويحدث تجديـد

بصفه مستمره وسريعه لطبقة الماء الملامسه لسطح التبادل الحرارى . ويستخدم الهواء فى تكثيف السائل المبرد باستعمال مروحة دفع Blower لزيادة كفاءة التكثيف بزيادة سرعة مرور الهواء على اسطح مواسير المكثف .

٤- انقاص الضغط على السائل المبرد لخفض درجة حرارة غليانه وتبخيره ، وتتم هذه العملية بسحب السائل الموجود بالمستودع تحت ضغط مرتفع الى صمام خاص يفصل منطقة الضغط المرتفع بالمكثف والقابله عن منطقة الضغط المنخفض فى البخر ويسمى هذا الصمام بصمام التمدد الترموستاتيكي او صمام الانتشار Thermal Expansion Valve .



Compression Refrigeration System

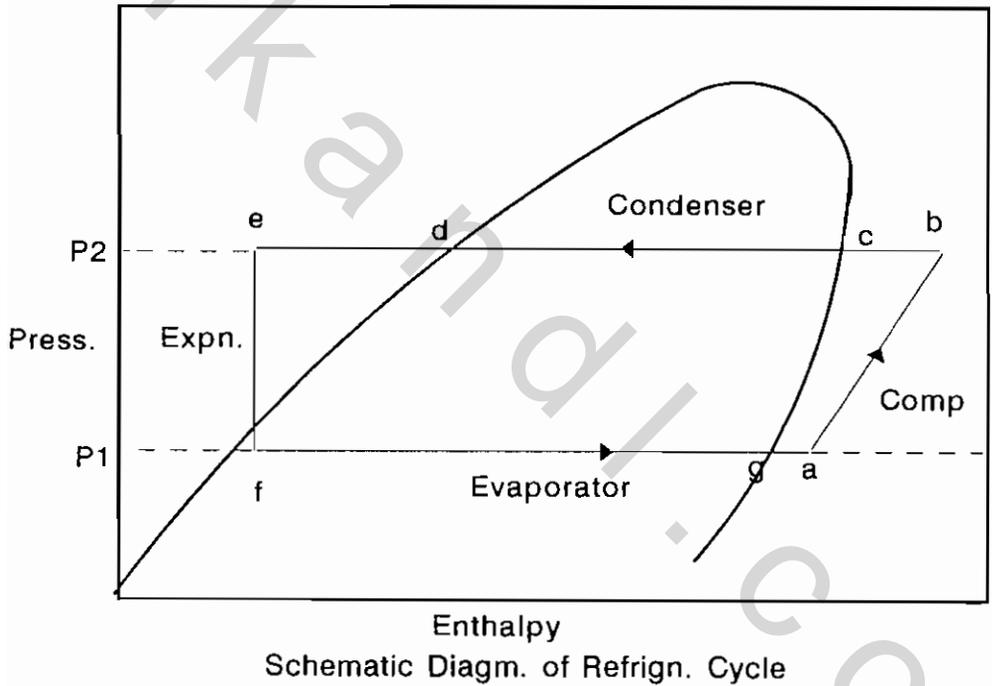
شكل (١٢-١) نظام التبريد الصناعى بالضغط

ويمثل الشكل (١٢-١) رسم تخطيطى لاجزاء دورة التبريد الصناعى بالضغط ، كما يشير الرسم البيانى المقابل الى العلاقه بين الضغط وكمية الحرارة للسائل المبرد اثناء مروره بالاجهزه المختلفه لدورة التبريد ، وفيه يمر السائل المبرد من القابله فى حالة بين الحالتين e ، d الى صمام الانتشار الترموستاتيكي عند الحاله e حيث يتحول السائل المبرد الى مخلوط من السائل والغاز الى ان يصل الى الحاله g حيث

التبريد والتجميد

يكون عندها غاز مشبع ، ويمتص هذا الغاز الحرارة من الجو المحيط به ليصبح محمصا عند الحالة a حيث يدخل الغاز الى الضاغط ويضغط ليصل الى الحالة b . ويفقد الغاز مقدار حرارة تجميحه اثناء مروره داخل ماسورة التوصيل الى المكثف حيث يصل الى الحالة c فيتكثف الغاز عند ضغط مرتفع وثابت ليصل الى الحالة d وتتكرر الدورة مره اخرى .

يتكون المبخر عادة من مجموعه من الانابيب يتحول فيها السائل المبرد من الحالة السائلة الى الحالة الغازية ، وتوجد داخل غرفة التبريد ووظيفته الاساسيه هو امتصاص الحرارة اللازمه لتبخير السائل المبرد من الجو المحيط به (المواد المراد تبريدها).

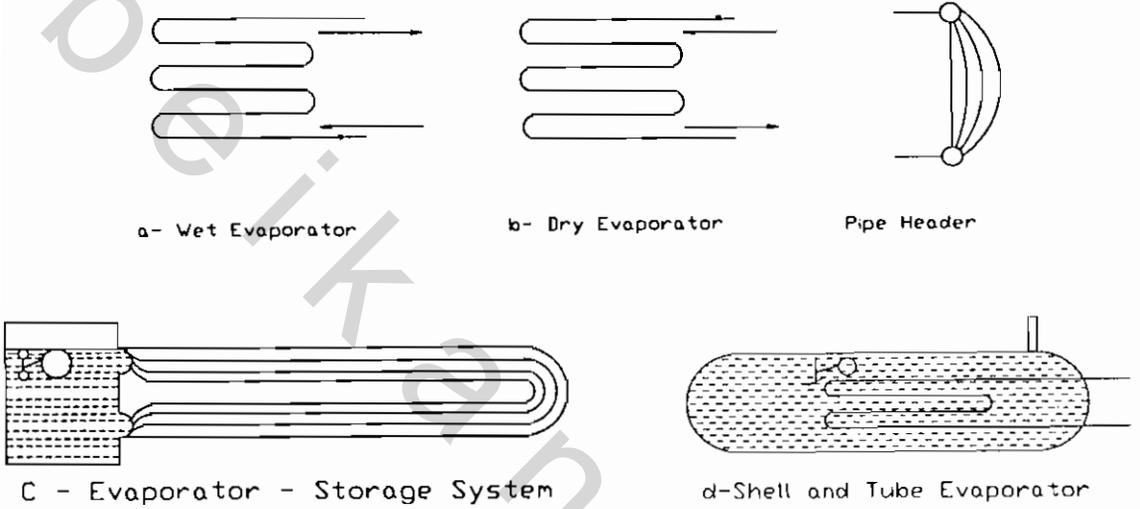


شكل (١٢-٢) تمثيل دورة التبريد على خريطة التبريد

شكل (١٢-٢) يمثل العلاقة بين الضغط الواقع على السائل المبرد وكمية الحرارة

الاجزاء الرئيسيه لدورة التبريد الصناعى بالضغط :

١- المبخر أو أنابيب التبخير :



شكل (١٢-٣) نماذج لأنواع مختلفه من المبخرات

وتصنع انابيب (مواسير) التبريد عادة من النحاس الاحمر او الاصفر او الصلب او الالومنيوم، ويعتبر النحاس انسب المعادن فى حالة استخدام الفريون كسائل مبرد حيث انه لا يؤثر على النحاس ، فى حين تستعمل أنابيب من الصلب فى حالة استخدام النشادر او ثانى اكسيد الكبريت وذلك لتأثير النشادر على النحاس وذلك فى حالة الرغبة فى احدات تبريد فى غرفة ما الى درجة حرارة اعلى من 34°F أو 1°M وخاصة اذا كان الهواء هو الوسيط فى نقل الحرارة ويفضل استخدام مواسير مزوده بزعانف أو ريش من نفس معدن المواسير لزيادة سطح التبريد الملامس للجو المراد تبريده ، ولاتفضل الزعانف فى حالة التبريد لأقل من 34°F او الصفر المتوى وذلك لان الرطوبه الموجوده بهواء غرفة التبريد تتجمد على اسطح المواسير وزعانفها مما يتسبب عنه تقليل كفاءة التبادل الحرارى بين هواء الغرفه وسائل التبريد داخل المواسير .

وتقدر كمية التبادل الحرارى من اسطح مواسير التبريد عند ملامستها هواء ساكن بما يعادل $2.5 \text{ BTU./hr.}^{\circ}\text{F ft}^2$ من سطح المواسير أو $12 \text{ kCal/hr.}^{\circ}\text{C. m}^2$ ، اما اذا لامست المواسير محلول ملحي أو أى سائل ساكن فكمية التبادل الحرارى تزيد الى $10 \text{ BTU./hr.}^{\circ}\text{F ft}^2$ من سطح المواسير أو حوالى $50 \text{ kCal/hr.}^{\circ}\text{C. m}^2$ ويمكن زيادة كمية التبادل الحرارى باحداث اثاره للهواء أو السائل المحيط بمواسير التبريد بواسطة التقليب بمروحة أو تلمبه .

ويمكن استخدام بعض الانواع التاليه كمبخرات :

أ- المبخر المبلل : **Wet Evaporator**

وهو يتكون من ماسوره واحدة او عدة مواسير متصله بمجمع Header ويدخل السائل الى المواسير من اسفل ويمر الى اعلى كما هو مبين فى شكل (١٢-١٣).

ب- المبخر الجاف : **Dry Evaporator**

يمثل المبخر المبلل فيما عدا دخول السائل من اعلى ومروره فى المواسير الى اسفل ويتسبب مرور السائل من اسفل الى اعلى فى زيادة كمية التبادل الحرارى وذلك نتيجة لاختلاط السائل المبرد ببخاره فيكون توزيع الحرارة اكثر انتظاما داخل المخلوط كما هو مبين فى شكل (١٢-١٣). كما انه اذا حدث وجود زيوت مختلطة بالسائل المبرد تتجمع بواسطة الجاذبيه الارضيه بأسفل المواسير وذلك فى حالة مرور السائل المبرد من اعلى الى اسفل ويمكن فصلها عن سائل التبريد بسهولة لان وجودها يسبب فى التقليل من كفاءة وحدة التبريد .

ج- المبخر من النوع المغمور ذو خزان تجميع :

Flooded Evaporator With An Accumulator

صمم هذا النوع بحيث يعطى كفاءة عاليه فى كمية التبادل الحرارى بين سائل التبريد والجو المحيط بالمواسير وذلك بغمر جميع اسطح المواسير الداخليه بالسائل المبرد ، وتتم عملية الغمر بواسطة صمام خاص ينظم حركته عوامه تعمل على مستوى

داخل خزان التجميع وبمستوى اعلى من مواسير المبخر وبذلك يضمن غمر السائل لسطح المواسير كما هو مبين فى شكل (١٢-١٣ج).

د- المبخر من النوع الاسطوانى ذو الانابيب الداخليه :

Shell and Tube Evaporator:

وهو مماثل للنوع المغمور ، ويكون خزان التجميع فى هذه الحالة عبارة عن اسطوانه تمر بداخلها مجموعة من الانابيب تحمل السائل المراد تبريده كما هو مبين فى شكل (١٢-٢د).

ويصلح هذا النوع فى تبريد السوائل مثل المحاليل الملحيه التى قد تستخدم فى عمليات تبريد اخرى ، او تبريد الماء الذى يتم رشه على الفواكه والخضروات بعد جمعها كما هى الحال فى عمليات التبريد العاجل أو المبدئى فى الحقل . Precooling .

٢- ضواغط غاز التبريد : Gas Compressors:

وقد سبق شرحها فى باب سابق ، وتوجد غالبا خارج غرفة التبريد ، وتنحصر وظيفة الضاغط فى وحدة التبريد فيما يأتى :-

أ- ايجاد منطقة ضغط منخفض داخل ملفات المبخر نتيجة سحبه للغازات المتولدة عن امتصاص سائل التبريد لحرارة التبخير .

ب- ايجاد منطقة ضغط مرتفع داخل ملفات المكثف نتيجة لضغط الغازات المسحوبه من المبخر . ويعتمد مقدار ضغط الغاز داخل الضاغط على القدرة المطلوبه للتبريد كما هو مبين فى الجدول (١٢-٢):

جدول (١٢-٢) علاقة الضغط بقدرة التبريد

القدرة حصان/(طن تبريد/ ساعة)	الضغط المانومتري كجم قوه /سم ^٢	القدرة حصان/(طن تبريد/ ساعة)	الضغط المانومتري رطل قوه /بوصه ^٢
١ر٠٨	٢ر٥	١ر٠٠	٢٠
١ر٢٨	٢ر٠	١ر١٢	١٥
١ر٥٧	١ر٥	١ر٢٨	١٠
١ر٩٧	١ر٣٣	١ر٥٤	٥
٢ر٠٠	١ر٠	١ر٧٦	صفر
٢ر٤٥	٠ر٧	٢ر٢٧	٥-

ج- ايجاد فرق فى مقدار الضغط الواقع على سائل التبريد وبذلك يعمل على استمرار دورة التبريد بانتقال السائل المبرد من مكان الى آخر ، فيقوم الضاغط بدفع الغاز المضغوط الى المكثف ثم الى المستودع ومنه الى المبخر عن طريق صمام الانتشار .

د- يتميز الضاغط بمقدار سريان حجم معين من غاز التبريد عند ضغط سحب الغاز الى داخل اسطوانة الضاغط وكذلك مقدار التغير اللازم فى الضغط خلال دورة التبريد .

٢- المكثفات : Condensers

وتوجد عادة خارج غرفة التبريد ، ووظيفتها امتصاص الحرارة الكامنه من الغاز المضغوط وتحويله من حاله الغازيه الى حاله السائله مرة اخرى . وتصنع انابيب المكثف من النحاس الاحمر باستثناء الحالات المستخدمه فيها سوائل تبريد كالنشادر وثانى اكسيد الكيريت فتكون من الصلب الغير قابل للصدأ . وتزود عادة مواسير المكثف بزعانف حتى تزيد من مساحة سطح التبادل الحرارى ، ويتم التبريد باحدى الطرق الآتية .

أ- التبريد بالهواء :

ويتكون المكثف فى هذه الحالة من مواسير افقيه ذات زعانف رأسيه لوحداث التبريد التى يلزم لها حوالى ٣ حصان كقوة محركه . ويدخل الغاز عادة من اعلى ويتكثف الغاز داخل المواسير والسوائل الناتجة من التكثف تمر الى اسفل بواسطة التثاقل الى مستودع تجميع . ويزود المكثف بمروحة لتجديد الهواء وذلك حتى تزيد كفاءة التبادل الحرارى .

ب- التبريد بالماء :

ويتخذ المكثف تصميم مماثل لتصميم المبخر من النوع الاسطوانى ذو الانابيب الداخليه والذى ذكر سابقا . والمكثفات ذات الاحجام الكبيرة وخصوصا الافقيه منها تستعمل عادة كمستودع بالاضافه الى عملها كمكثف ، وتستخدم انابيب المكثف فى هذه الحالة فى مرور الماء اللازم للتبريد او التكثيف .

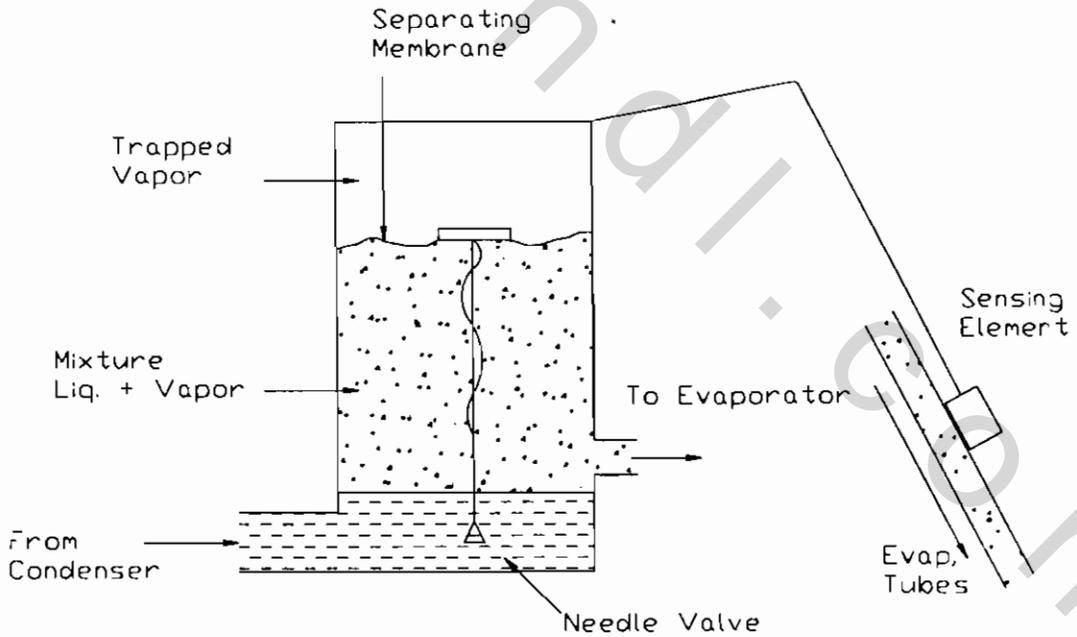
٤- مستودع السائل المبرد أو القابله : Receiver

خزان السائل المبرد ويصنع من الصلب الغير قابل للصدأ فى حالة استخدام سوائل تبريد مثل النشادر أو ثانى اكسيد الكبريت ومن النحاس عامه لباقى سوائل التبريد السابق ذكرها .

٥- صمام التمدد أو الانتشار Thermal Expansion Valve

وتنحصر وظيفته فيما يلى :

- أ - يعمل كفاصل بين منطقة الضغط المنخفض والمرتفع .
- ب- يتسبب فى تخفيض الضغط المرتفع للسائل الموجود فى المستودع وذلك بان يقوم بتسريب جزء منه الى مواسير المبخر .
- ج- يعمل على تزويد المبخر بشحنه ثابتة متناسبه من السائل المبرد وذلك حسب احتياجات التبريد .



شكل (١٢-٤) قطاع فى صمام التمدد أو الانتشار الثرموستاتيكي

وصمام الانتشار المعروف بالثرموستاتيكي ، يعتمد اعتمادا كلياً على التغير في درجة حرارة الغاز المتبخر من السائل المبرد نتيجة لتحميصه عند نهاية انابيب المبخر .

ويتركب من جسم الصمام وبه فتحة لدخول السائل من المكثف على ضغط مرتفع وفتحة اخرى لخروج مخلوط من السائل والغاز المبرد الى المبخر تحت ضغط منخفض، ويفصل الفتحتان عن بعضهما حاجز به ثقب رفيع يتحكم في مقدار فتحته صمام الابره Needle Valve مثبت على غشاء مرن Diaphragm يمكن تحريكها الى أعلى واسفل ويوجد خلف هذه القاعدة المرنة غرفة تتصل بجزء حساس Sensing Element بصمام للتحكم يوجد عند نهاية انابيب المبخر ، ويوجد بهذه الغرفة غاز معين محبوس داخلها ، ويكون عادة من نفس السائل المبرد ولكن لا يوجد اتصال بينه وبين السائل المبرد المار في انابيب المبخر . وتعتمد طريقة عمل صمام الانتشار على ارتفاع درجة حرارة الوسيط نتيجة لتحميصه فاذا ارتفعت درجة حرارة الغاز الموجود في المبخر عن الدرجة المصمم عليها فترتفع تباعا درجة حرارة الغاز المحبوس مسببا تمدده ضغطا على القاعدة المرنة لصمام الابره وبذلك يفتح صمام الابره ويسمح بمرور شحنة من السائل المبرد المتكثف فتقل درجة الحرارة وهكذا تستمر العملية .

وتتوقف درجة تحميص بخار سائل التبريد داخل انابيب المبخر على :-

أ- معدل التبخير بملفات المبخر وهذا يمثل الحمل الواقع على وحدة التبريد . فكلما زاد الحمل زادت درجة تحميص الغاز ، على ذلك يسمح صمام التمدد بدخول شحنة جديدة من الوسيط .

ب- معدل سريان السائل المبرد الداخل الى انابيب المبخر، فكلما زاد هذا المعدل كلما قلت درجة تحميصه ويؤدي ذلك الى تقليل او ايقاف دخول شحنة جديدة من السائل المبرد الى انابيب المبخر .

ج- يؤدي عدم تشغيل الضاغط الى توقف مرور السائل خلال صمام التمدد وبذلك تتوقف وحدة التبريد كلية .

وتعتبر عملية التحكم في معدل سريان السائل المبرد بواسطة صمام الانتشار هامة جدا وذلك لانه ، في نظام التبريد الصناعي بالضغط ، يصمم الضاغط على اساس ضغطه للغاز فاذا ماتسربت كمية من السائل المبرد الى اسطوانة الضاغط ادى ذلك الى تلف الضاغط وبالتالي تلف وحدة التبريد كلها نتيجة لزيادة كمية تصرفه عن مقدار الحمل على المبخر اللازم لتبخيره .

اقتصاديات التشغيل فى نظام التبريد الصناعى بالضغط :

يعتمد سريان السائل المبرد داخل دورة التبريد الصناعى بالضغط على ان يكون ضغط الطرد (الضغط المرتفع للغاز المبرد الخارج من الضاغط) أعلى من ضغط السحب (الضغط المنخفض للغاز المبرد الداخلى الى الضاغط) . ويعتمد التشغيل الاقتصادى لوحدة التبريد على مدى النجاح فى ان يكون ضغط الطرد ثابت على اقل درجة ممكنه بالاضافه الى ثبوت ضغط السحب على اعلى درجة ممكنه بحيث يكون هناك فرق فى الضغطين حتى تتم دورة التبريد ويتحدد ضغط السحب على درجة الحرارة التى يراد الوصول اليها فى مواسير المبخر فكلما قل ضغط السحب كلما قلت درجة حرارة تشبع السائل المبرد . وبالتالي يمكن الوصول الى درجات تبريد منخفضة ويتحدد ضغط الطرد على درجة حرارة الوسيط (الهواء او الماء) فى مواسير المكثف فكلما كانت درجة حرارة جو المنطقه مرتفعه كلما زاد هذا من ضغط الطرد حتى ترتفع درجة حرارة تكثيف الغاز المبرد عن درجة حرارة المنطقه .

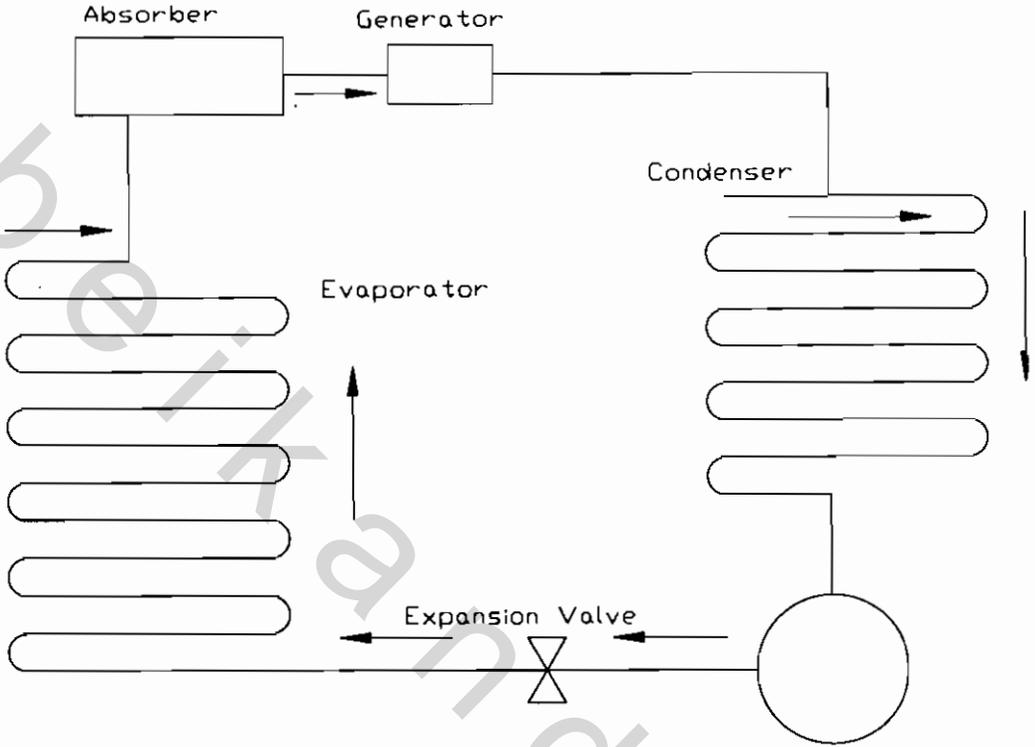
وهناك عدة عوامل تتسبب فى رفع ضغط الطرد وبذلك تقل كفاءة التشغيل :

- أ - وجود هواء او غازات غير قابله للتكثيف داخل مواسير المكثف .
- ب- وجود رواسب او اوساخ داخل مواسير المبخر وبذلك تقل كفاءة التبادل الحرارى
- ج- حجم مواسير المكثف اقل مما يجب .
- د - تسرب بعض الزيت المستخدم فى تزييت اسطوانة الضاغط الى داخل مواسير المكثف.
- هـ- تسرب جزء من السائل المبرد الى داخل الضاغط فى حالة سائله .

والعوامل التى تتسبب فى تقليل ضغط السحب هى :

- أ - صغر حجم مواسير المبخر فتقل قدرته على التبادل الحرارى الكامل لحمل وحدة التبريد .
- ب- تسرب بعض الزيت الى مواسير المبخر وخصوصا اذا كان النشادر هو السائل المبرد المستخدم فى دورة التبريد فيختلط الزيت بالنشادر مكونا مستحلبا درجة حرارة غليانه مرتفعه .
- ج- عدم ازالة طبقة الثلج التى قد تكون متكونه على اسطح انابيب المبخر مما يسبب تقليل كفاءة التبادل الحرارى .

ثانيا : التبريد الصناعي بالامتصاص : Absorption system



شكل (١٢-٥) التبريد الصناعي بالامتصاص

لا تختلف كثيرا النظرية الاساسيه للتبريد الصناعي بالامتصاص عن نظام الضغط باستثناء بعض النقاط التاليه :

١- يشترط في دورة التبريد الصناعي بالامتصاص استخدام سائل مبرد له قابلية الامتصاص داخل سائل آخر مثل استخدام النشادر كسائل مبرد له قابلية الامتصاص في الماء .

٢- لا يستخدم الضاغط في دورة التبريد الصناعي بالامتصاص ولكن يستخدم بدلا منه قابله ومولد يقومون بوظيفة الضاغط الرئيسيه كما يأتى :

أ- يوجد بالقابله سائل الامتصاص (الماء مثلا في حالة استخدام النشادر كسائل مبرد) وتكون مهمته امتصاص السائل المبرد المتبخر في مواسير المبخر وبذلك يترك خلفه منطقة الضغط المنخفض في مواسير المبخر .

ب- يقوم المولد بوظيفة الضاغط الأخرى وهى رفع درجة حرارة تكثيف السائل المبرد نتيجة لضغطه وذلك بان تسخن محللول النشادر المركز القادم من القابله فيتكون غاز النشادر مره اخرى ويتصاعد بضغط مرتفع نتيجة لعملية التسخين وعلى ذلك يتسبب فى توليد منطقة ضغط مرتفع فى الدورة .

ملحوظة :

إنه من الأهميه أن نذكر أن استخدام مائع النوشادر لا يؤثر على طبقة الأوزون ويعتبر ذلك ميزه إلا أن قابليته للإنفجار تحد من استخدامه على نطاق واسع.

طرق التبريد COOLING METHODS

تقسم عادة طرق التبريد داخل وحدات التخزين ومصانع الاغذية والالبان طبقا لطريقة مرور السائل المبرد وطريقة استخدامه داخل غرف التبريد وتشمل احدى الطريقتين التاليتين :

أولا : طريقة التبريد المباشر : Direct Cooling

وفى هذه الطريقة يمر السائل المبرد داخل ملفات المبخر الذى يوجد داخل المكان المراد تبريده ، ويتبخر السائل المبرد داخل ملفات المبخر نتيجة لامتصاصه الحرارة مباشرة من الجو المحيط بالمواد المراد تبريدها . وتستخدم هذه الطريقة فى غرف التجميد السريع لارتفاع كفاءتها ، وفى غرف التبريد الصغيره لقله تكاليف انشائها، وفى الثلجات المنزلية الصغيرة لبساطة تصميمها .

وتتلخص عيوب هذه الطريقة فيما يلى :

- ١- يلزم تشغيل وحدة التبريد ٢٤ ساعه يوميا لانه فى حالة توقف وحدة التبريد لن يتم التبادل الحرارى وبالتالى تتوقف عملية التبريد .
- ٢- تتعرض المواد المراد حفظها بالتبريد للتلف اذا تسربت بعض السوائل المبرده الى غرف التبريد ، وكذلك احتمال اصابة العمال القائمين بتشغيل غرف التخزين وقد تتعرض وحدة التبريد الى الانفجار او الاشتغال فى بعض الحالات عندما يكون السائل المبرد المستخدم قابل للاشتعال .
- ٣- صعوبة الكشف عن مكان تسرب الغاز المبرد خصوصا وان مواسير وحدة التبريد تكون ممتدة بطول غرف التبريد ويؤدى ذلك الى ارتفاع تكاليف الصيانه .
- ٤- يؤدى وجود وحدة التبريد قريبة من اماكن التبريد الى الاقلال من عوامل الامان والنظافه .
- ٥- لايمكن استعمال نسبة رطوبة مرتفعه فى حفظ المواد وذلك لان وجود الرطوبه يسبب تجميدها على مواسير التبريد ويستلزم ازلتها بصفه مستمره .

ثانيا : طريقة التبريد غير المباشرة : Indirect Cooling

يستخدم فى هذه الطريقة وسيط مبرد مثل محلول ملحي Brine Solution فيبرد المخلوط اولا بملامسته انابيب المبخر ، ثم ينقل هذا المحلول المبرد بواسطة طلمبات خاصه الى غرف التبريد التى يوجد بها المواد المراد تبريدها . وتزود مواسير المخلوط الملحي بخزانات احتياطية يوجد داخلها ملفات مبخر وحدة التبريد ، وتعتمد وظيفة هذه الخزانات الاحتياطيه على درجة تركيز المحلول الملحي .

ويمكن الوصول الى درجة حرارة منخفضة جدا اذا كان تركيز المخلوط مرتفع دون ان يتجمد ويكون له القدرة على امتصاص كمية كبيرة من الحرارة اثناء توقف وحدة التبريد نفسها ويسمى هذا الخزان فى هذه الحالة بخزان التبريد الاحتياطى .

وإذا كانت درجة تركيز المخلوط الملحي منخفضة فانه يتجمد عند تبريده ويتحوّل الى بللورات صغيره من الثلج ويكون له القدرة على امتصاص كمية من الحرارة تعادل الحرارة الكامنه اللازمه لذوبان الثلج بالاضافه الى حرارته الظاهريه ، ويسمى الخزان فى هذه الحالة بخزان التجميد الاحتياطى.

وتستخدم عدة محاليل ملحيه اهمها كلوريد الصوديوم او كلوريد الكالسيوم . ويمكن الوصول الى درجات حرارة اقل (حوالى - ٥٨° ف أو - ٥٠° م) فى حالة استخدام كلوريد الكالسيوم ولذلك فانه يفضل استعماله عن كلوريد الصوديوم بالاضافه الى انخفاض تأثيره من جهة تآكل المعادن .

وتتميز طريقة التبريد غير المباشر بالآتى :

- ١- يمكن تشغيل وحدة التبريد ساعات محدودة فى اليوم وذلك لانه يمكن الاعتماد على كمية الحرارة التى تمتص بواسطة خزانات التبريد او التجميد الاحتياطيه .
- ٢- اذا حدث اى تسرب للغاز المبرد لا يحدث عنه تلف للاغذيه ولا تتعرض العمال الى الاصابه وذلك لان وحدة التبريد تكون منفصله تماما عن غرف التبريد .
- ٣- يسهل الكشف عن مكان تسرب الغاز المبرد وذلك لان وحدة التبريد تشغل حيزا محدودا .
- ٤- يمكن بسهوله الكشف عن مكان تسرب المخلوط الملحي .
- ٥- فصل وحدة التبريد عن غرف التبريد يكون سببا فى زيادة عامل الامان خصوصا ضد الانفجار وكذلك يزيد من عوامل النظافه فى الاستعمال .

أما عيوب طريقة التبريد غير المباشر فتتلخص فى الآتى :-

- ١- كفاءة التبريد تقل كثيرا عن طريقة التبريد المباشر وذلك لوجود وسيط مبرد (المحلول الملحى) بين السائل المبرد والمادة المراد تبريدها .
- ٢- ارتفاع تكاليف الانشاء والصيانه والتشغيل نتيجة لوجود عدد من الخزانات الاحتياطيه واطوال كثيرة من مواسير المحلول الملحى ومايلزمها من طلمبات لدفع المحلول واجهزة لتنظيم دورة التبريد .

المواد العازله المستخدمه فى التبريد

تقوم عملية التبريد الطبيعى او الصناعى بفرضين مهمين فى وقت واحد :-

- ١- امتصاص الحرارة من المادة المراد تبريدها وكذلك من غرفة التبريد بصفه عامه حتى تنخفض درجة حرارتها اى تبريدها .
- ٢- حفظ درجة حرارة غرفة التبريد ثابتة بدون ارتفاع الذى قد ينتج نتيجة لتسرب كمية من الحرارة من الخارج الى الداخل عن طريق جدران وجوانب واسقف غرف التبريد .

وتزود وحدات التبريد عادة بقاطع للحمل Relay تكون ضمن مهمته فصل التيار الكهربائى عن موتور الضاغط اذا ماوصلت درجة حرارة المادة المراد تبريدها أوغرفة التبريد الي درجة حرارة التبريد المطلوبه . وحتى لا تتحمل وحدة التبريد حملا كبيرا بدون داع ، فتصمم غرف التبريد على اساس ان يكون تسرب الحرارة خلال جدرانها اقل مايمكن وذلك حتى يتركز عمل وحدة التبريد بصفه اساسيه للغرض الاول وهو عملية امتصاص الحرارة من المواد المراد حفظها بالتبريد بغرض خفض درجة حرارتها .

وتغطى جوانب غرف التبريد بمواد خاصه بحيث تكون معزوله عن الجو الخارجى للغرف ذو درجة الحرارة المرتفعه .

الشروط الواجب توافرها فى المواد العازله :

- ١- رخص ثمنها حتى يمكن استخدامها تجاريا بطريقة اقتصادية .
- ٢- عديمه الرائحة حتى لاكتسب المواد المراد تخزينها ، خصوصا المواد الغذائيه ، رائحة غير مرغوب فيها .
- ٤- غير قابله للاشتعال والتشعث .

ونذكر فيما يلى بعض المواد الشائعة الاستعمال فى العزل الحرارى :

١- التفريغ التام .

يعتبر ازالة الهواء المحصور فى الفراغ بين اى جدارين من اكفا الوسائل لعزل الحرارة ، ولكن استعمال هذه الطريقة من الناحية التجاربه محدود وذلك لارتفاع تكاليف احدات التفريغ المطلوب . وتستعمل هذه الطريقة فى بعض عمليات العزل البسيطة كما فى زجاجات الحفظ (الترامس) التى تتكون من جدار مزدوج والحيز الموجود بين الجدارين مفرغ من الهواء .

٢- الهواء :

يعتبر الهواء الساكن من المواد العازله الجيده وطريقة استخدامه تنحصر فى عمل جدار مزدوج للمكان المراد حفظ درجة حرارته ثابتة ، يحصر الهواء فى التجويف الداخلى بين جدرانه ويجب مرعاة منع اى حركة للهواء . ولرفع كفاءة عزل الغرف وحتى لاتحدث بالهواء تيارات حمل ويمكن تنفيذ ذلك بعمل حواجز صغيره بين جوانب الجدران او بملأ الفراغات بين هذه الحواجز بمواد تحجز بينها فراغات هوائيه مثل نشارة الخشب او تراب الفلين .

٣- الفلين :

يستعمل بكثرة فى النواحي التجاربه لعزل غرف التبريد، وتزداد كفاءته فى العزل كلما زادت مساحة الفراغات الهوائيه المقفله . ويستخدم الفلين عادة على هيئة الواح لتلصق بالجدران على طبقة واحدة او عدة طبقات ، ويجب طلاء سطح الفلين الداخلى الملامس للجدار بطبقة من الاسفلت السائل كعازل للرطوبة والسطح الخارجى بطبقة من الاسمنت المخلوط بمادة عازله للرطوبة .

وعموما تستخدم الواح الفلين بسلك ٧٥ سم اذا كانت درجة حرارة غرفة التبريد ٢° م فاكثر ، وسلك ١٠ سم اذا كانت درجة الحرارة اقل من ٢° م كما يستعمل على صورة حبيبات او على هيئة تراب تملأ به الفراغات الموجوده بين جدران غرف التبريد ويراعى بالاضافه بهان الجدران بالاسفلت السائل كعازل للرطوبة .

٤- الخشب :

تستعمل الواح الخشب فى عزل الحرارة بدرجة جيدة ويحد من استعمالها ارتفاع ثمنها وعلى النطاق التجارى لعزل ثلاجات الحفظ الصغيرة كما تستعمل الواح الخشب فى اقامة الجدران المزدوجة لغرف التبريد وتملأ الفراغات بمادة اقتصاديه مثل نشارة الخشب والتراب الفليني . ومن عيوب الخشب انه يمتص الرطوبة بسرعة مما يفقده خاصية العزل ويمكن معالجة هذا العيب بطلاء الاوجه المعرضه للجو الرطب بطلاء خاص او تغليفها بمواد عازله اخرى مثل الورق المشمع .

٥- الصوف الزجاجى :

يعتبر افضل وارخص مواد العزل خاصة انه غير قابل للاحتراق . ويتواجد الصوف الزجاجى على هيئة مراتب هشه مقواه بالشبك السلك او على هيئة قوالب مضغوطة وفى هذه الحالة يجب طلائها بطبقة عازله مثل الاسفلت السائل لمنع تسرب الرطوبه داخل القوالب وخصوصا من الجانب الملاصق للسطح الاكثر ارتفاعا فى درجة الحرارة اذ ان بخار الماء يتسرب بمعدل اكثر من هذا الجانب فاذا ما وصلت الرطوبه الى الجانب الآخر الاقل فى درجة الحرارة تكثف بخار الماء مسببا فى تقليل او فقد الصوف الزجاجى خاصية العزل .

٦- الورق :

يتميز بخاصيته العاليه فى عزل الحرارة ولكنه قليل الاستعمال ويقتصر استعماله كمادة عازله مغلقة ، للمواد العازله الاخرى لحمايتها من الرطوبه .

٧- السيلوتكس : Celotex

وتعتبر هذه المادة من المنتجات المحلية المستحدثة وتختلف خاصيتها فى عزل الحرارة حسب طريقة انتاجها ، وهى عبارة عن الواح تنتج من ضغط الياف قصب السكر بعد فصل جميع المواد الغذائيه فى المصاص ، ويشابه الى حد ما الخشب الحبيبي الناتج من الساف الكتان وقش الارز وينتظر نجاح كبير من الناحيه التجاريه لهذه المواد كعازل للحرارة ويرجع ذلك الى انتاجها محليا وبثمن اقتصادى .

٨- السيلتون : Celton

يعتبر من المواد العازله الحديثه الاستعمال بالاضافه لرخص ثمنه غير انه اقل فى كفاءة العزل عن الفلين ويحضر من خلط الاسمنت والصدوا الكاويه والسلت بنسبة معينه .

الاشتراطات الواجب توافرها فى الثلاثجات التجاريه عند انشائها:

يراعى عند انشاء الثلاثجات التجاريه عدة نقاط حتى يمكنها أداء وظيفتها بكفاءة عاليه وبصورة اقتصادية . وبيان هذه النقاط كما يلى :

- ١- ان يكون التصميم مرنا قابل للامتداد حتى يمكن التوسع فى اماكن التخزين مستقبلا .
- ٢- يجب مراعاة عزل الغرف المبرده بمواد جيدة العزل واقتصادية الثمن وخالية من الرائحة التى قد تنتقل للمواد المراد تخزينها .
- ٣- ان تكون ابواب غرف التبريد معزوله جيدا او يفضل ان تكون من النوع المزدوج حتى يقل تسرب الحرارة من الجو المحيط بالغرفة الى داخلها خصوصا عند فتح الابواب .
- ٤- عند تخزين ثمار الفاكهه والخضر يراعى أن تكون درجة حرارة الغرفة مناسبة للثمار المراد تخزينها حتى لاتتدهور .
- ٥- يشترط عند تصميم غرفة التبريد تزويدها بمراوح حتى يكون هناك حركة مستمرة للهواء تمنع تراكم الغازات الناتجة عن تنفس المواد المخزنه حول انسجة المحصول ويمكن عمل ذلك باحدى الطرق الآتية :-
- أ- تقليب هواء غرفة التبريد بمراوح حتى يكون هناك حركة مستمره للهواء تمنع تراكم الغازات الضاره حول انسجة المواد المبرده . وكذلك يساعد التقليب على ضمان احتفاظ جميع اجزاء الغرفه بدرجة الحرارة المطلوبه .
- ب- تزويد غرف التبريد باجهزة خاصه تحتوى على مواد كيميائيه معينه لامتصاص هذه الغازات الضاره . وتستخدم مادة الاسكاريت Ascarite لامتصاص غاز ثانى اكسيد الكربون وهى عبارته عن اسبستوس مشبع ومغطى بمادة الصودا الكاويه وتستخدم مادة الفحم البيرومى المنشط Activated brominated charcoal لامتصاص غاز الايثلين .
- ج- تجديد الهواء بالتهويه Ventilation وذلك لطرد نواتج العمليات الحيويه من الغازات الضاره وامتدادها بهواء نظيف بصفه مستمرة .
- د- تعديل هواء الغرفه والتحكم فى نسب مكوناته وذلك باستعمال غاز ثانى اكسيد الكربون او الاوزون الذى يتحد مع بعض الغازات الناتجة عن عملية التنفس وبذلك يمكن التخلص منها .

٦- يؤدي ارتفاع نسبة الرطوبة بغرف التخزين للثمار المراد تخزينها الى شدة اصابة المحاصيل بالفطريات والبكتريا ، وكذلك يؤدي انخفاض الرطوبة أكثر من اللازم الى تبخر الماء وذبول الثمار لذلك يجب مراعاة نسبة الرطوبة داخل الثلاجه ولكل محصول نسبة رطوبه معينه يمكن تخزينه عليها ، وتكون هذه النسبه عادة هى نفس نسبة ما يحتويه المحصول من ماء ، وبذلك لايفقد المحصول الماء بالتبخر نتيجة لتساميها الى الجو المحيط به .

و جدول (١٢-٣) يبين درجة حرارة التخزين المثلى والرطوبة النسبيه داخل غرف التبريد ودرجة حرارة التجميد الواجب حفظ ثمار الخضر والفاكهه عليها.

جدول (١٢-٣) انسب ظروف تخزين بعض ثمار الخضار والفاكهة

المحصول	درجة الحرارة المثلى (م°)	الرطوبة النسبية بالمخزن (%)	طول مدة التخزين بالتقريب	المحتوى الرطوبي (%)	الحرارة النوعية (ك جول/كجم م°)
البطاطس	١٣-٣	٩٠	٤-٨ شهر	٨١.٢	٨٥
الجزر	صفر	٩٥-٩٠	٤-٥ شهر	٨٨.٢	٩٠
اللفت	صفر	٩٥-٩٠	٤-٥ شهر	٩٠.٩	٩٣
الفجل	صفر	٩٥-٩٠	١٠-١٢ شهر	٧٣.٤	٧٨
البنجر بعروش	صفر	٩٥-٩٠	١٠-١٤ يوم	-	-
بدون عروش	صفر	٩٥	٣-٥ شهر	٨٧.٦	٩٠
البصل	صفر	٧٠-٦٥	٦-٨ شهر	٨٧.٥	٩٠
الثوم	صفر	٧٠-٦٥	٦-٨ شهر	٧٤.٢	٧٩
الكرنب	صفر	٩٥-٩٠	٣-٤ شهر	٩٢.٤	٩٤
القطبيط	صفر	٩٥-٩٠	٢-٤ أسبوع	٩١.٧	٩٣
كرنب بروكس	صفر	٩٥-٩٠	٣-٤ أسبوع	٨٤.٩	٨٧
البروكلي	صفر	٩٥-٩٠	٧-١٠ يوم	٨٩.٩	٩٢
الخرشوف	صفر	٩٥-٩٠	١-٢ أسبوع	٨٣.٧	٨٧
الخس	صفر	٩٥	٢-٣ أسبوع	٩٤.٧	٩٦
البقدونس	صفر	٩٥-٩٠	١-٢ شهر	٨٥.١	٨٨
الكرفس	صفر	٩٥-٩٠	٢-٤ شهر	٩٣.٧	٩٥
السبانخ	صفر	٩٥-٩٠	١٠-١٤ يوم	٩٢.٧	٩٤
الثليك	صفر	٩٥-٩٠	٥-٧ يوم	٨٩.٩	٩٢
الطماطم الخضراء	١٦-١٤	٩٠-٨٥	٢-٣ أسبوع	٩٤.٧	٩٥
الطماطم ناضجة	١٠-٧	٩٠-٨٥	٢-٧ يوم	٩٤.٧	٩٥
الباذنجان	١٠-٧	٩٠	٧ يوم	٩٢.٧	٩٤
الفلفل	١٠-٧	٩٥-٩٠	٢-٣ أسبوع	٩٢.٤	٩٤
الخيار	١٠-٧	٩٥-٩٠	١٠-١٤ يوم	٩٦.١	٩٧
قرع الكوسة	١٣-٧	٨٥-٨٠	١٥-٢١ يوم	٩٥.٠	٩٦
القرع العسلي	١٣-١٠	٧٥-٧٠	٢-٦ شهر	٩٠.٥	٩٢
الكانتلوب	صفر-٥	٩٠-٨٥	٥-١٥ يوم	٩٢.٠	٩٣
الشمام	١٠-٧	٩٠-٨٥	٢ أسبوع	٩٢.٧	٩٤
كيزان العسل	١٠-٧	٩٠-٨٥	٣-٤ أسبوع	٩٢.٦	٩٤
البطيخ	١٠-٥	٨٥-٨٠	٢-٣ أسبوع	٩٢.١	٩٧

أساسيات هندسة التصنيع الزراعي

تابع ماقبله

الحرارة النوعية (ك.جول/كجم.م°)	المحتوى الرطوبى (%)	طول مدة التخزين بالتقريب	الرطوبة النسبية بالمخزن (/)	درجة الحرارة المثلى (م°)	المحصول
٠.٧٩	٧٤.٣	١-٢ أسبوع	٩٥-٩٠	صفر	لبسله
٠.٩١	٨٨.٩	١-٨ يوم	٩٥-٩٠	١٠-٧	الفاصوليا
٠.٧٣	٦٦.٥	١٠-١٥ يوم	٩٠	صفر-٥	الفول الرومى
٠.٩٢	٨٩.٨	١-٧ يوم	٩٥-٩٠	١٠-٧	لباميه
٠.٧٥	٦٨.٥	٤-٦ شهر	٩٠-٨٥	١٦-١٢	البطاطا
٠.٩٠	٨٧.٢	٨-١٢ أسبوع	٩٠-٨٥	صفر-١	البرتقال
٠.٩٢	٨٩.٣	١-٤ شهر	٩٠-٨٥	١٥-٩	للبيون الاصاليا
٠.٨٩	٨٦.٠	٦-٨ أسبوع	٩٠-٨٥	١٠-٩	المالح ليلدى
٠.٩١	٨٨.٨	٤-٨ أسبوع	٩٠-٨٥	١٠	الجريب فروت
٠.٩٠	٨٧.٣	٢-٤ أسبوع	٩٠-٨٥	صفر-٤	اليوسفي
٠.٨٥	٨١.٤	٢-٣ أسبوع	٩٥-٨٥	١٢	المانجو
٠.٨٠	٧٤.٨	-	٩٥-٨٥	صفر	الموز
٠.٨٠	٧٥.٢	٤-٦ أسبوع	٩٥-٨٥	١٣-٧	الزيتون
٠.٧٢	٦٥.٤	٤ أسبوع	٩٥-٨٥	١٣-٧	الزبدية
٠.٨٢	٩٠.٨	٢-٣ أسبوع	٩٥-٨٥	٧	الباياض
٠.٨٦	٨٢.٧	٢-٧ شهر *	٩٥-٩٠	٢- صفر	لكمثرى
٠.٨٧	٨٤.١	٢-٨ شهر *	٩٠	١- صفر	التفاح
٠.٨٨	٨٥.٣	٢-٣ شهر	٩٠	صفر	السفرجل
٠.٨٧	٨٣.٠	١-٤ يوم	٩٠	صفر	الكريز
٠.٨٨	٨٥.٤	١-٢ أسبوع	٩٠	صفر	المشمش
٠.٩٠	٨٦.٩	٢-٤ أسبوع	٩٠	صفر	الخوخ
٠.٨٨	٨٥.٧	٢-٤ أسبوع	٩٥-٩٠	صفر	البرقوق
٠.٨٢	٨٧.٠	٧-١٠ يوم	٩٠-٨٥	صفر	التين
٠.٨٦	٨١.٦	١٥-٦ شهر *	٩٥-٩٠	١- صفر	العنب
-	-	٢-٤ شهر	٩٠	٢-١	الرمان
٠.٨٤	٧٨.٢	٢-٤ شهر	٩٠	١-	لكاكي
٠.٢٢-٠.٢٥	٦-٢	٨-١٢ شهر	٧٥-٦٥	صفر-١٠	لثقل
٠.٤١-٠.٣١	١٤-٢٦	٩-١٢ شهر	٦٠-٥٠	صفر	التمار المجففة

* حسب الصنف

المصدر : الحاصلات البستانيه (أ.د. صلاح النبوى وآخرون)

حمولة التبريد
REFRIGERATION LOAD

وتعرف حمولة التبريد بانها مقدار كمية الحرارة التى يجب التخلص منها فى الثلجات او غرف التبريد لحفظ مادة معينه عند درجة حرارة مناسبة طوال فترة التخزين . وتعتمد حمولة التبريد على عدة عوامل اهمها مايتى :

- ١- مدى كفاءة اجهزة وحدات التبريد .
- ٢- حجم غرف التخزين .
- ٣- نوع وصنف المحصول المراد تخزينه (حرارته النوعيه ، حرارته الكامنه ، درجة حرارة التخزين) .
- ٤- درجة حرارة الجو الخارجى المحيط بغرف التبريد وعدد المرات التى يفتح ويقفل فيها ابواب الثلجات .

وتحدد سعة وحدة التبريد باحدى الطرق الآتية :

- ١- كمية الحرارة التى تمتصها الآله فى الساعه اما بالوحدات البريطانىة او الوحدات المتريه او الوحدات المختلطة أو الوحدات الدوليه .
- ٢- التبريد الكمى بالرطل او الكيلوجرام فى الساعه علما بان رطل التبريد يلزمه ١٤٤ وحدة حراريه بريطانيه BTU أو الكيلوجرام تبريد يلزمه ٧٩٩ كيلوكالورى .k.Cal .
وهى كمية الحرارة اللازمه لانصهار وحدة وزنيه واحده من الثلج .

- ٢- كمية التبريد بالطن تبريد فى اليوم

$$\text{Short ton} = 2000 \text{ Lb} \times 144 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}} = 288000 \text{ BTU}$$

$$\frac{\text{BTU}}{\text{Lb}} \quad 144 \times \text{Lb} \quad 2000 =$$

$$\text{BTU} \quad 288000 =$$

حيث يعتبر الطن القصير Short ton (الطن الأمريكى) يساوى ٢٠٠٠ رطل والطن الكامل أو الطن العادى (الطن الانجليزى) يساوى ٢٢٤٠ رطل

$$\begin{aligned} &= 1000 \text{ kg} \times 79.9 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \\ &= 79900 \text{ kcal} \\ &\approx 80000 \text{ kcal} \end{aligned}$$

والحراره التى يجب ازلتها بالتبريد هى عبارة عن مجموع الاحمال الآتية:

أولا : حرارة الحقل : Field Heat

وهى الحرارة المخزونه فى المحصول نتيجة تعرضه للشمس وتبينها درجة حرارة الثمار . وتتأثر كمية حرارة الحقل بالوقت اللازم لجمع الثمار ومدى تعرضها للشمس، ويمكن تقليلها بجمع الثمار فى وقت مبكر من الصباح ووضع المحصول فى الظل .

وتعتمد حمولة التبريد اللازمه لازالة حرارة الحقل على :

- ١- درجة الحرارة الابتدائية للثمار .
- ٢- درجة الحرارة النهائية للثمار او درجة الحرارة المراد تخزين الثمار عندها .
- ٣- وزن الثمار وادوات التعبئة والتغليف .
- ٤- الحرارة النوعية للثمار وادوات التعبئة والتغليف ويمكن تقديرها اذا علم (M_C) المحتوى الرطوبى للثمار حسب المعادله التقريبية الآتية :

$$\text{Special heat} = (M_C \times 0.008) + 0.2$$

ويرمز المقدار الثابت ٠.٢ الى الحرارة النوعية الجافه تماما فى الثمار المراد تخزينها .

٢- الحرارة الحيويه : Vital Heat

تؤدى الثمار المختلفه كئى كائنات حيه ، عملياتها الحيويه المختلفه بعد جمعها واثناء تخزينها وتؤدى عملية التنفس Respiration الى احتراق المكونات العضويه للمحصول ويتأكسد السكر الى غاز ثانى اكسيد الكربون وماء ويصحب ذلك توليد

طاقة حرارية ناتجة عن عملية التنفس وتسمى هذه الطاقة بالحرارة الحيوية . وهى تمثل جزء مهم فى حمولة التبريد اللازمة لغرف التخزين . ويمكن قياس الحرارة الحيوية باستخدام اجهزة خاصة تسمى Calorimeters او تقديرها حسابيا بمعرفة كمية غاز ثانى اكسيد الكربون المتولد عن التنفس . والطريقة الاخيرة اسرع واسهل ولايتعدى الخطأ فى حسابها عن ١٠٪ من القيمة الحقيقيه للحرارة الحيوية وهذا الخطأ ناتج عن افتراض ان جميع الحرارة المتولدة اثناء التنفس تكون ناتجة عن احتراق سكر الجلوكوز

وتعتمد كمية الحرارة الحيوية على مايتأتى :

- ١- مادة التخزين .
- ٢- كمية المحصول المراد تخزينها .
- ٣- سرعة تنفس المحصول وتقدر بحجم غاز الاكسجين الممتص او حجم غاز ثانى اكسيد الكربون المتولد من تنفس وزن معين من المحصول فى وحدة زمنيه واحده .

ثانيا : الحرارة النافذه : Heat Leakage

وهى مجموع كميات الحرارة التى تنساب او تنفذ داخل غرف التبريد الثابتة او المتنقلة (عربات النقل وعربات السكك الحديدية ... الخ) وتشمل الآتى :

- ١- الحرارة التى تنفذ الى داخل غرف التبريد خلال الاسقف والجدران والارضيه :

وتكون ذات اهمية كبيرة فى الظروف الآتية :

- أ- ارتفاع درجة حرارة الجو الخارجى لغرف التبريد .
- ب- انخفاض درجة حرارة هواء غرفة التبريد (كما هى الحال فى غرف التجميد)
- ج- استعمال غرف التبريد المتنقلة (عربات النقل وعربات السكك الحديدية) ، فيؤدى سرعة الهواء خارج الغرف الى ارتفاع كمية الحرارة النافذه من جانب واسقف غرف التبريد .

وتعتمد كمية الحرارة النافذة داخل غرف التبريد على العوامل الآتية :

- أ- الفرق بين درجة حرارة الجو الخارجى للغرفة ودرجة حرارة هواء غرفة التبريد ، فكلما زاد هذا الفرق كلما زادت كمية الحرارة المتسربة .
- ب- مساحة الاسطح الخارجيه لغرف التبريد .
- ج- مدة التخزين .
- د- نوع المادة المستخدمه فى عزل غرفة التبريد (مقاومتها لانتقال الحرارة) .
- هـ- معدل انتقال الحرارة من الهواء الخارجى للغرفة الى داخل الغرفة وهذا المعدل يعتمد على سرعة الهواء الملامس لجدران الغرفة من داخلها وخارجها وكثافته ولزوجته التى تتأثر بدرجات الحرارة هذا بالاضافه الى حرارته النوعيه . ويعبر عنها بمعامل انتقال الحرارة بالحمل الذى سبق ذكره سابقا .

٢- حرارة الخدمة : Service Heat

وهى كمية الحرارة المتسربة نتيجة لفتح ابواب غرف التبريد ومن عملية تجديد هواء الغرفة بالاضافه الى العنصر البشرى اى حرارة تنفس العمال وكذلك الحرارة المتولدة عن إدارة ماكينات التبريد ومراوح التقليل والتهويه والحرارة الناتجة عن الاضاءه .

ويمكن تقدير كمية حرارة الخدمة بما قيمته ١٠ الى ١٥٪ وقد تصل الى ٢٠٪ من مجموع الحرارة النافذة خلال جدران الغرفة وحرارة تنفس المواد المخزونه .

٣- احتياطي طوارئ : Reserves

ويقدر بحوالى ٢٠٪ الى ٣٥٪ من مجموع الاحمال السابقه لمراعاة الظروف التى قد تستجد مثل ارتفاع درجة حرارة الجو الخارجى (فترة الصيف مثلا) او زيادة غير منتظرة فى حرارة العقل نتيجة جمع الثمار فى فترة الظهيره .

مثال (١)

المطلوب تقدير سعة وحدة التبريد المناسبة لغرفة أبعادها الداخليه $2 \times 2 \times 2$ متر وحوائطها وسقفها من الخشب بسمك 7.5 سم ومغطاه بألواح من الفلين من الداخل بسمك 1.0 سم والغرفة معده لحفظ 2 طن ثمار البرتقال عند درجة حرارة 5°C بينما درجة حرارة الجو الخارجى للغرفة 30°C وبحيث يسحب طن واحد من البرتقال كل يوم ويستبدل بنفس الكمية وبحيث يتم التبريد خلال 6 ساعات علما بأن :

معامل إنتقال الحرارة بالتوصيل للخشب =	25 ر .	كيلوكالورى/ساعة.متر. $^{\circ}\text{C}$
معامل إنتقال الحرارة بالتوصيل للفلين =	10 ر .	كيلوكالورى/ساعة.متر. $^{\circ}\text{C}$
معامل إنتقال الحرارة بالحمل للهواء الخارجى =	25 ر .	كيلوكالورى/ساعة.متر. $^{\circ}\text{C}$
معامل إنتقال الحرارة بالحمل للهواء الداخلى =	10 ر .	كيلوكالورى/ساعة.متر. $^{\circ}\text{C}$
الحرارة النوعية للبرتقال =	9 ر .	كيلوكالورى/كجم. $^{\circ}\text{C}$
حرارة تنفس ثمار البرتقال =	400 ر .	كيلوكالورى/طن.يوم

مع اعتبار اضافة 20% من كميات الحرارة نتيجة لفتح أبواب الغرفة والتهويه واحتياطى وحدة التبريد .

الحل

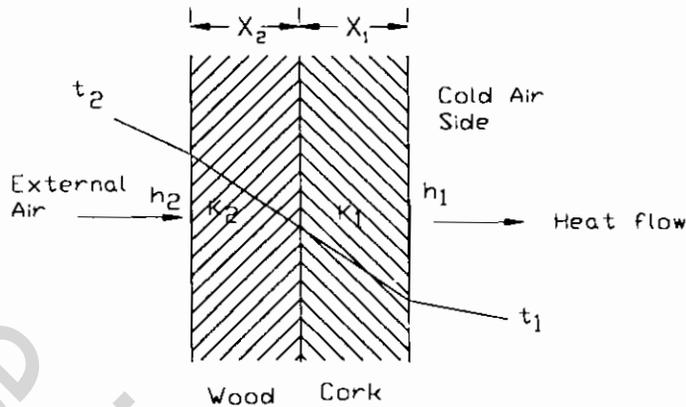
$$\text{Field heat} = \frac{\text{Mass of Oranges} \times \text{specific heat} \times \text{temp. difference}}{\text{Cooling hours}}$$

$$= \frac{1000 \times 0.9 \times (30 - 5)}{6} = 3750 \text{ kcal/hr}$$

$$\text{Heat of respiration of orange} = 1 \times \frac{400}{24} = 16.7 \text{ kcal/hr}$$

كمية الحرارة النافذه يمكن حسابها كما يأتى :

$$\text{Heat leakage (Q)} = \frac{A. (t_2 - t_1)}{\frac{1}{h_1} + \frac{X_1}{k_1} + \frac{X_2}{k_2} + \frac{1}{h_2}}$$



Walls area of refrigeration room = $2 \times 3 \times 4 = 24 \text{ m}^2$

Ceiling and floor areas of room = $3 \times 3 \times 2 = 18 \text{ m}^2$

Total surface area = $24 + 18 = 42 \text{ m}^2$

يمكن حساب الحرارة النافذة كالاتي :

$$Q = \frac{(42)(30 - 5)}{\frac{1}{2.5} + \frac{10}{(100)(0.1)} + \frac{7.5}{(100)(0.25)} + \frac{1}{1.5}}$$

$$= \frac{(42)(25)}{0.4 + 1 + 0.3 + 0.67}$$

$$Q = 443 \text{ kcal./hr.}$$

Total heat to be absorbed per hour during cold storage

$$= \text{Field heat} + \text{Heat of respiration} + \text{Heat leakage}$$

$$= 3750 + 16.7 + 443$$

$$= 4209.7 \text{ kcal/hr}$$

∴ Refrigeration Capacity

$$= \frac{\text{Total Heat Absorbed} \times \text{Hours/day}}{\text{Heat in Ton Refrigeration}}$$

Correction should be made for reserves

$$\therefore \text{Refrigeration Capacity} = \frac{(4209.7)(1.2)(24)}{(80000)} = 1.515 \text{ Ton}$$

التبريد والتجميد

أى يلزم اقامة وحدة تبريد مقدار حملتها حوالى ١٥ طن تبريد فى اليوم ويتلاحظ أن كمية الحرارة النافذه تمثل جزءا هاما فى الحمل الاجمالى لوحدة التبريد فى حين أن حرارة التنفس للمحصول تكون صغيره إلى حد ما . غير أن هذه الحرارة تكون ذات أهمية كبيرة إذا كانت كمية الثمار المخزنه كبيرة خاصة إذا ما إرتفعت درجات حرارة التخزين عن ١٠°م كما هي الحالة عند تخزين ثمار الفراوله مثلا .

مثال (٢) :

وحدة تبريد صناعى بالضغط تعمل بطريقة التبريد غير المباشر وتتكون من جهاز للتبريد مزود بخزان به محلول ملحي حول مبخر جهاز التبريد وطمبية لدفع المحلول الملحي خلال مواسير غرفة التبريد .
إذا كانت أبعاد غرفة التبريد ٦ × ٥ × ٣ متر حوائطها مبنية من الطوب الحرارى بسمك ٢٥سم ومغطاه من الخارج بطبقة من المونه بسمك ٢٥سم ، ومن الداخلى بالواح الفلين بسمك ٧٥سم . والغرفه معدة لحفظ ٢ طن من ثمار الفراوله عند درجة حرارة ١٠°م بينما درجة حرارة الجو الخارجى للغرفه ٢٥°م وتستغرق عملية خفض درجة حرارة الفراوله خمسة ساعات .
إذا كانت طول المواسير الحامله للمحلول الملحي ٣٠ متر وقطر الماسورة ٧٥سم ومعزوله بطبقة من الصوف الزجاجى مقدارها ٧٥سم كذلك كانت درجة حرارة المحلول الملحي داخل مواسير التوصيل صفر°م ودرجة حرارة الجو الخارجى ٢٥°م .
احسب سعة وحدة التبريد بالطن تبريد فى اليوم علما بأن :

معامل إنتقال الحرارة بالتوصيل للطوب الحرارى = ١٨ . كيلوكالورى/ساعه.متر.°م
معامل إنتقال الحرارة بالتوصيل للمونه الاسمنتيه = ٥٥ . كيلوكالورى/ساعه.متر.°م
معامل إنتقال الحرارة بالتوصيل لألواح الفلين = ١٠ . كيلوكالورى/ساعه.متر.°م
سمك معدن المواسير الحامله للمحلول الملحي = ٥٠ . سم

معامل إنتقال الحرارة بالتوصيل لمعدن المواسير = ١٢٥ كيلوكالورى/ساعه.متر.°م
معامل إنتقال الحرارة بالتوصيل للصوف الزجاجى = ٠.١ . كيلوكالورى/ساعه.متر.°م
معامل إنتقال الحرارة بالحمل للهواء الخارجى = ٢٥ كيلوكالورى/ساعه.متر.°م
معامل إنتقال الحرارة بالحمل لهواء غرفة التبريد = ١٥ كيلوكالورى/ساعه.متر.°م
معامل إنتقال الحرارة بالحمل للمحلول الملحي = ٢٥ كيلوكالورى/ساعه.متر.°م
الحراره النوعيه للفراوله = ٩ . كيلوكالورى/كجم.°م

حرارة تنفس ثمار الفراوله عند ١٠°م = ٢٥٠٠ كيلوكالورى/طن فى اليوم
مع إعتبار إضافه ٢٥٪ من كميات الحرارة كاحتياطى لوحدة التبريد وحرارة الخدمه .

الحل

$$\text{Field heat} = \frac{2000 \times 0.9 \times (35 - 10)}{5} = 9000 \text{ kcal/hr}$$

$$\text{Heat of respiration} = \frac{2 \times 2500}{24} = 208.33 \text{ kcal/hr}$$

كمية الحرارة النافذه (Q):

١- من أسطح وجوانب وأرضية غرفة التبريد

$$Q = \frac{A (t_2 - t_1)}{\frac{1}{h_1} + \frac{X_1}{k_1} + \frac{X_2}{k_2} + \frac{X_3}{k_3} + \frac{1}{h_2}}$$

$$\begin{aligned} \text{Area of walls of refrigeration room} &= 5 \times 3 \times 2 + 6 \times 3 \times 2 \\ &= 30 + 36 = 66 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Area of ceiling and floor of refrigeration room} &= 5 \times 6 \times 2 \\ &= 60 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Total surface area} = 66 + 60 = 126 \text{ m}$$

$$\therefore Q = \frac{(126) (35 - 10)}{\frac{1}{2.5} + \frac{25}{(100)(0.18)} + \frac{2.5}{(100)(0.55)} + \frac{7.5}{(100)(0.10)} + \frac{1}{1.5}}$$

$$Q = \frac{(126) (25)}{0.4 + 1.39 + 0.045 + 0.75 + 0.67}$$

$$Q = \frac{(126) (25)}{3.255}$$

$$Q = 967.7 \text{ kcal/hr.}$$

٢- من مواسير توصيل الملول الملحي إلى غرفة التبريد وتستخدم المعادله الخاصه بالانتقال القطرى للحرارة من المواسير

$$Q = \frac{2\pi L (t_2 - t_1)}{\frac{1}{h_1 r_1} + \frac{\ln r_2/r_1}{k_1} + \frac{\ln r_3/r_2}{k_2} + \frac{1}{h_2 r_2}}$$

$$= \frac{(2) (3.14) (30) (35 - 10)}{\frac{100 \times 2}{(5.25) (7.5)} + \frac{\ln 8.5/7.5}{12.5} + \frac{\ln 23.5/8.5}{0.01} + \frac{100 \times 2}{(1.5) (23.5)}}$$

$$= \frac{(2) (3.14) (30) (25)}{5.08 + 0.01 + 101.7 + 5.67} = \frac{4710}{112.46}$$

$$Q = 41.88 \text{ kcal/hr.}$$

حيث ان :

$$r_1 = \frac{7.5}{2} = 3.75 \text{ cm}$$

$$r_2 = \frac{7.5}{2} + 0.5 = 4.25 \text{ cm}$$

$$r_3 = \frac{7.5}{2} + 0.5 + 7.5$$

$$= 11.75 \text{ cm}$$

Total heat to be absorbed per hour

$$= \text{Field heat} + \text{Heat of respiration} + \text{Heat leakage}$$

$$= 9000 + 208.33 + (967.7 + 41.88)$$

$$= 10217.91 \text{ kcal/hr}$$

$$\therefore \text{Refrigeration Capacity} = \frac{(10217.91) (1.25)(24)}{(80000)} = 3.83 \text{ Ton}$$

ويلاحظ أن الزيادة فى حمل التبريد كان نتيجة ارتفاع كمية الحرارة النافذه إلى غرفة التبريد مما يدل على أن كمية العزل الحرارى للغرفة كانت غير كافيه.

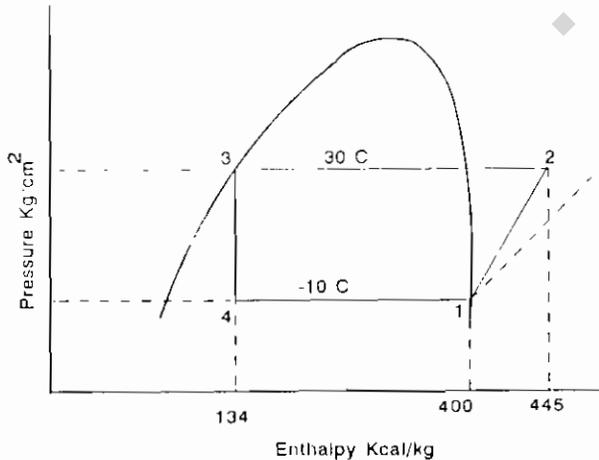
مثال (٣)

ثلاجة تبريد للمواد الغذائية تتحمل حمل تبريد قدره ١٢ طن، تبريد ودرجة حرارة المكثف والمبخر كانت 3°C ، -10°C على الترتيب . فإذا كان الضاغط المستخدم ذو اسطوانتين فردي التأثير ويدور بسرعه ٩٠٠ لفة/دقيقه وكان ارتفاع درجة حرارة مياه التبريد فى المكثف 5°C . وكان مائع التبريد المستخدم هو الأمونيا (غاز النوشادر) إحسب :

- أ - سعة وحدة التبريد
- ب- كمية الحرارة المفقوده فى المكثف
- ج - معامل أداء الثلاجه
- د - معدل سريان مائع التبريد اللازم فى الدقيقه
- هـ- القدرة المطلوبه للضاغط مقدره بالحصان الميكانيكى
- و - أبعاد اسطوانة الضاغط اذا كانت نسبة طول المشوار الى القطر = ١.٢
- ز - معدل سريان مياه التبريد فى المكثف

الحل

ترسم دورة التبريد على الخريطة الخاصه بالأمونيا على أساس أن شغل الضاغط يبدأ من منحنى التشبع للغاز عند درجة حرارة المبخر ويتبع منحنى الأنثروبييا الثابت عند هذه النقطة (1) حتى يصل إلى الحالة (2) عند درجة حرارة المكثف . ويتكثف مائع التبريد حتى يصل إلى الحالة (3) ويكون السائل مشبعاً يتم خفض ضغطه حتى يصل إلى الحالة (4) عند ضغط المبخر كما هو مبين فى الشكل :



1- سعة التبريد :

Cooling or Refrigeration Capacity

$$\begin{aligned}
 Q_c &= h_1 - h_4 \\
 &= 400 - 134 \\
 Q_c &= 266 \quad \text{kcal/kg.}
 \end{aligned}$$

ب- كمية الحرارة المفقودة في المكثف :

Heat Absorbed in Condenser

$$\begin{aligned}
 Q_a &= h_2 - h_3 \\
 &= 445 - 134 \\
 Q_a &= 311 \quad \text{kcal/kg.}
 \end{aligned}$$

ج- معامل أداء التلاجه :

Coefficient of Performance

$$\begin{aligned}
 \text{C.O.P.} &= \frac{\text{Refrig. Capacity}}{\text{Work done in Compn.}} \\
 &= \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \\
 &= \frac{400 - 134}{445 - 400} \\
 &= \frac{266}{45} \\
 \text{C.O.P.} &= 5.91
 \end{aligned}$$

د- معدل سريان مائع التبريد :

Refrigeration load = Rate of flow refrigerant
x Refrigeration Capacity

$$\therefore \frac{(12) \times (80,000)}{(24)} = \text{Refrigerant Rate} \times (266)$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{Refrigerant Rate} &= \frac{(12) (80,000)}{(24) (266)} \\ &= 150.38 \text{ kg./hr.} \\ &= 2.51 \text{ kg./min.} \end{aligned}$$

هـ- القدرة النظرية اللازمة للضاغط :

Theoretical HP. for the Compressor

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Ref. Rate} \times \text{Work done (ht. units)}}{\text{Standard HP.}} \\ &= \frac{(2.51) (445 - 400) (427)}{75 \times 60} \\ &= 10.71 \text{ HP.} \end{aligned}$$

و- لايجاد قطر وطول مشوار مكبس الضاغط :

نوجد حجم الاسطوانه وذلك من معرفة الحجم النوعى للغاز على خريطة التبريد بواسطة مائع الامونيا عند النقطة (١) وتكون مساويه 0.425 متر مكعب/كجم .

∴ Refrigerant Rate (by weight)

$$= \frac{\text{Cyl. Vol.} \times \text{No. of Cyl.} \times \text{RPM} \times \text{No. of effects}}{\text{Sp. Vol.}}$$

$$\text{Cyl. Vol.} = \frac{(2.51) (0.425)}{2 \times 900 \times 1} = 0.000593 \text{ m}^3$$

$$\text{Cyl. Vol.} = \frac{\pi}{4} D^2 L$$

$$0.000593 = \frac{\pi}{4} D^2 (1.2 D)$$

$$\begin{aligned} \therefore D^3 &= \frac{(0.000593) (100^3) (4)}{(1.2) (\pi)} \\ &= 629.51 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore D &= 8.57 \text{ cms.} \\ \& L &= (1.2 \times 8.57) \\ L &= 10.28 \text{ cms.} \end{aligned}$$

ز- لايجاد معدل سريان مياه التبريد في المكثف :

يتم اجراء موازنه حراريه على المكثف كما يلي :

$$\begin{aligned} \text{Heat absorbed by cooling water} \\ &= \text{Heat lost from refrigerant} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore (\text{Refrigerent Rate}) (h_2 - h_3) \\ &= \text{Cooling water rate} \times C_p \cdot ht. \times \Delta t \\ \therefore (2.51) (445 - 134) &= (\text{Cooling water rate}) (1) (5) \\ \therefore \text{Cooling water rate} &= \frac{(2.51) (311)}{(5)} \\ &= 156.12 \text{ kg./min.} \end{aligned}$$

مثال (٤):

إعادة حل المسأله المنصوص عليها في مثال (٢) مع استخدام مائع التبريد ركلين ١٣٤ - (i) Reclin 134a بدلا من غاز النوشادر .

الحل

إشارة إلى كروكي مثال (٢) وباستخدام الخريطه الخاصه بركلين ١٣٤-أ نحصل على البيانات الآتية بالنسبه لانتالبيا المائع :

$$\begin{aligned} h_1 &= 391 \text{ kJ/kg} = \frac{391}{4.188} = 93.36 \text{ kcal/kg} \\ h_2 &= 419 \text{ kJ/kg} = 100 \text{ kcal/kg} \\ h_3 &= 242 \text{ kJ/kg} = 57.78 \text{ kcal/kg} \\ h_4 &= 242 \text{ kJ/kg} = 57.78 \text{ kcal/kg} \end{aligned}$$

أ- سعة التبريد :

$$Q_c = h_1 - h_4$$

$$= 93.36 - 57.78$$

$$\therefore Q_c = 35.58 \text{ kcal/kg}$$

ب- كمية الحرارة المفقودة في المكثف :

$$Q_a = h_2 - h_3$$

$$= 100 - 57.78$$

$$\therefore Q_a = 42.22 \text{ kcal/kg}$$

ج- معامل أداء الثلج :

$$\text{C.O.P.} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

$$= \frac{93.36 - 57.78}{100 - 93.36}$$

$$\therefore \text{C.O.P.} = \frac{35.58}{6.64} = 5.36$$

د- معدل سريان مائع التبريد

$$\text{Refrigerant Rate} = \frac{(12) (80,000)}{(24) (35.58)}$$

$$= 1124.23 \text{ kg/hr}$$

$$= 18.74 \text{ kg/min.}$$

هـ- القدرة النظرية اللازمة للضاغط

$$\text{Theoretical H.P.} = \frac{\text{Ref. Rate} \times \text{Work Done (ht. Units)}}{\text{Standard HP.}}$$

$$= \frac{(18.74)(h_2 - h_1)(427)}{(75)(60)}$$

$$= \frac{(18.74)(100 - 93.36)(427)}{(75)(60)}$$

$$= 11.81 \text{ HP}$$

و- لاجاد قطر وطول مشوار مكبس الضاغط

من خريطة مائع التبريد نجد أن الحجم النوعي للغاز عند الضغط (١) تكون مساوية ١٠٠ ديسمتر مكعب/كجم أى ١ م٣ م٣/كجم.

$$\therefore \text{Cyl. Vol.} = \frac{(18.74)(0.1)}{2 \times 900 \times 1} = .00104 \text{ m}^3$$

$$= \frac{\pi}{4} D^2 L$$

$$= \frac{\pi}{4} D^2 (1.2 D)$$

$$\therefore D^3 = 1104.03$$

$$D = 10.31 \text{ cm}$$

$$L = 12.37 \text{ cm}$$

ز- معدل سريان مياه التبريد فى المكثف

بعمل الموازنه الحراريه على المكثف

$$\therefore (18.74)(93.36 - 57.78) = (\text{Cooling water rate})(1)(5)$$

$$\therefore \text{Cooling water rate} = \frac{(18.74)(35.58)}{(5)}$$

$$= 133.35 \text{ kg/min.}$$

التحكم فى درجات الحرارة والرطوبه داخل غرف التخزين بالتبريد:

يجب العمل على التحكم فى درجات الحرارة والرطوبه داخل غرف التخزين المبرده وذلك للاقلال من التغيرات الخارجيه التى تحدث فى ثمار المحصول اثناء تخزينه ، مثل النقص فى الوزن والحجم وسمك القشرة ويرجع ذلك الى فقد الماء بالتبخير . وتعتبر درجة حرارة التخزين من اهم العوامل التى تؤثر فى حدوث التغيرات الطبيعيه او الظاهريه فى المحصول اذ يوجد تناسب طردى بين سرعة تبخر الماء من المحصول وبين ارتفاع درجة حرارة التخزين ، فكلما زادت درجة حرارة التخزين كلما زاد تبخر الماء ، وبذلك يكون الفقد فى الوزن والحجم فى المحاصيل المخزنه عند درجة حرارة ٤.٥ م اقل من المحاصيل المخزنه عند درجة حرارة ١٠ م لذلك يستعمل فى المخازن المبرده الكبيره جهاز لقياس التغيرات التى تحدث فى الحرارة .

وعادة يلحق بهذه المآزن جهاز لقياس نسبة الرطوبة وتسجيلها اوتوماتيكيا ويسمى ثرموهيجروجراف Thermohygrograph . وتتناسب نسبة الرطوبة تناسبيا عكسيا مع سرعة تبخر الماء من المحصول فكلما زادت نسبة الرطوبة كلما قل تبخر الماء والعكس صحيح . وبذلك يكون النقص فى الوزن والحجم اكثر فى المحاصيل المخزنة فى هواء نسبة الرطوبة به ٨٠٪ عنه فى هواء نسبة رطوبته ٩٠٪ ، وذلك لان الفرق بين تركيز الماء فى المحصول المراد تخزينه وبين تركيز الماء فى هواء الغرفة يتسبب عنه انتشار الماء على هيئة بخار Water Vapor Diffusion من داخل انسجة المحصول الى سطحه الخارجى ومنه الى هواء غرفة التبريد حتى يحدث تعادل بين تركيز بخار الماء فى هواء الغرفة والمحصول المراد تخزينه .

وليمكن التحكم فى نسبة الرطوبة اوتوماتيكيا اثناء التبريد وذلك بالتحكم فى الفرق بين درجة حرارة المبرد ودرجة حرارة هواء غرفة التبريد . فكلما صغر هذا الفرق كلما زادت الرطوبة النسبيه ويرجع ذلك الى ارتفاع نقطة الندى فى هواء الغرفة . ويمكن رفع نسبة الرطوبة بسرعه فى غرف التبريد باحداث شابوره مائيه Fog وذلك بتسخين ماء داخل صهاريج توضع بالغرفة او دفع الماء داخل الغرفة على هيئة رذاذ بواسطة مراوح وتسمى مجموعته رشاشات الماء بالاجهزة المرطبه Humidistat للتحكم فى نسبة الرطوبة داخل غرف التبريد .

التجميد Freezing

وهو أحد العمليات التكنولوجية التي تتم نتيجة لخفض درجات الحرارة لمادة ما عن درجة حرارة تجمد هذه المادة . حيث أنه من المعروف أن تخفيض درجة الحرارة يؤدي إلى تثبيط نشاط الكائنات الحية الدقيقة في المواد الغذائية وتأخير التفاعلات الكيميائية والأنزيمية وبالتالي منع تدهور المنتجات الغذائية وفسادها، مع إمكان حفظ المواد الغذائية لفترات طويلة تحت ظروف مجمدة بدون تغير في خواصها الطبيعية والكيميائية.

عند تصميم نظام تجميد لمنتج غذائي فإنه يلزم تقدير أو حساب إحتياجات التبريد أو التغير في الانثالبي Enthalpy التي تحدث أثناء عملية التجميد . وكذلك أنه من الأهمية بمكان معرفة المعدل والزمن الذي يتم فيه تجميد مادة ما . وهو مرتبط بخواص المنتج وجودته حيث أن بمعدل التجميد سيتحدد معدل الإنتاج نتيجة له وبالتالي فإنه يتطلب التوازن بين التجميد السريع المرغوب ودرجة جودة المنتج.

وعامة فإن معظم الأغذية سواء نباتية أو حيوانية تحتوي على نسبة عالية من الرطوبة المذاب فيها كثير من المواد العضوية والغير عضوية . وتوجد هذه الرطوبة على شكل ماء حر Free Water له نفس الخواص الطبيعية والكيميائية للخلايا والأنسجة في المواد الغذائية.

مما سبق فإنه يتضح أن الاعتبارات الهندسية لاجراء عمليات التجميد تحتاج إلى تطبيق مبادئ الديناميكا الحرارية في معاملات تجميد الأغذية عن طريق خفض درجة حرارتها . وتورد فيما يلي تلخيص لذلك لأماكن اجراء الحسابات الخاصة بتجميد الأغذية.

تطبيقات الديناميكا الحرارية :

يعتبر المحتوى الحراري أو الانثالبي Enthalpy عاملا هاما في حسابات المعاملات الحرارية ويمثل ما يسمى بدالة الحالة State Function ويعبر عنها بالمعادلة الآتية :-

$$H = U + PV \quad (12-1)$$

حيث U تمثل الطاقة الداخلية للنظام ، P تمثل الضغط المطلق ، V تمثل حجم

النظام .

ومن المعروف أن أى تغيير فى المحتوى الحرارى يكون نتيجة للتغير فى ما يحتويه النظام من كمية حرارة عند ضغط ثابت وهو ما يطلق عليه بالحرارة النوعية تحت ضغط ثابت " Cp " Specific heat at constant temperature أى أن:

$$\Delta H = C_p \Delta T \quad (12-2)$$

وعند اضافة أو امتصاص طاقة حرارية لمادة ما فإن الانتقال الحرارى من أو إلى المادة يتسبب عنه قصور فى الطاقه وهو ما يعبر عنه بالانتروبيا Entropy.

$$\Delta S = \frac{\Delta q}{T} \quad (12-3)$$

حيث Δq هى كمية الطاقه الحراريه المتبادله ، T درجة الحرارة المطلقه .

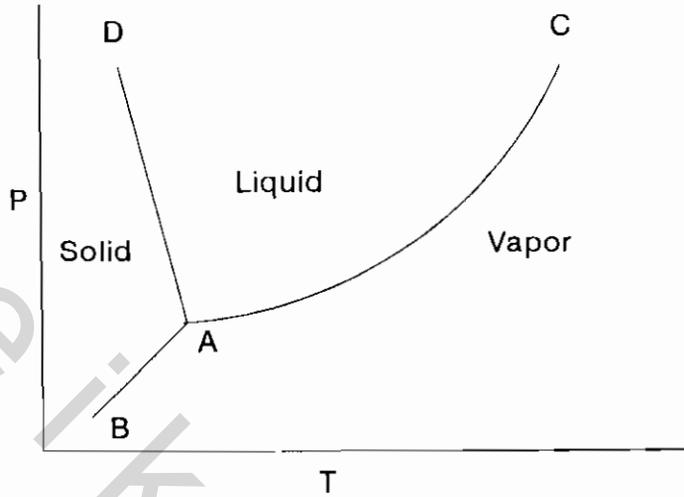
وعند ابقاء نظام ما على درجة حرارة ثابتة وضغط ثابت كما هو الحال فى كثير من المنتجات الغذائيه المخزونه نتحصل على حالة من التوازن Equilibrium ينتج عنها ما يسمى بالطاقه الحرة Free Energy وتعرف بالمعادله الآتية :-

$$G = H - TS \quad (12-4)$$

أى أنها الفرق بين إنثالبيا المادة وحاصل ضرب درجة الحرارة المطلقه فى انتروبيا المادة . ويكون هذا التغير عند درجة حرارة ثابتة مساويا إلى :

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \quad (12-5)$$

وفى كثير من عمليات تصنيع الأغذية يحدث تغيير فى طور المادة Phase Change كما هى الحالة فى عمليات التبخير Evaporation والتجميد Freezing والانصهار والتسييح Thawing والتسامى Sublimation ويكون ذلك تحت ظروف درجة حرارة ثابتة وضغط ثابت . ويكون نتيجة لذلك تغير فى النظام من حالة طاقه حرة مرتفعه إلى حالة طاقه حرة منخفضة وهو ما يعرف بالكمون الديناميكي الحرارى Thermodynamic Potential ولدراسة ذلك نأخذ فى الاعتبار مادة نقيه مثل الماء ويمثل تغير الطور المنحنى الآتى :



شكل (١٢-٦) منحنى تغير الطور

المنحنى AC يمثل حالة التوازن بين السائل والبخار Vaporization التبخير، والخط AD يمثل حالة الاتزان بين الصلب والسائل أى التجميد والتسييح Freezing & Thawing فى حين الخط AB يمثل حالة الاتزان بين الصلب والبخار Sublimation التسامى. والنقطة A هى النقطة الثلاثية Triple point حيث يتواجد عندها السائل والصلب والبخار فى آن واحد عند نفس درجة الحرارة والضغط .

وأول من قام بدراسة حالة الاتزان الديناميكي الحرارى بين الأطوار المختلفه للمادة النقيه (الماء فى هذه الحالة) هما العالمان كلوسىوس وكلايرون اللذان توصلا لمعادلة أطلق اسميهما عليها :-

Clausius- Clapeyron Equation:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\lambda}{T \Delta V} \quad (12-6)$$

وعند افتراض أن بخار الماء له نفس سلوك الغاز المثالى ومع اهمال حجم السائل بالنسبه لحجم البخار فإن :

$$\frac{d(\ln p)}{dT} = \frac{\lambda}{RT^2} \quad (12-7)$$

حيث:

$$\begin{aligned} R &= \text{الثابت العام للغازات} \\ \lambda &= \text{الحرارة الكامنة للتبخير (تغير الطور Phase Change)} \\ T &= \text{درجة الحرارة المطلقة} \\ P &= \text{ضغط بخار الماء الناتج} \\ \Delta V &= \text{التغير في حجم البخار} \end{aligned}$$

إنخفاض نقطة التجمد Freezing Point Depression

في الجزء السابق تكلمنا عن حالة الإتزان بين السائل وبخار السائل عند التبخير واعتبرنا أن بخار السائل يسلك سلوكا مثاليا مكننا من تطبيق قوانين الغاز المثالي والتي بنيت على إختفاء تام لقوى الجذب بين مكوناته . وكذلك الحال بالنسبة للسائل المثالي والذي يتميز بانتظام تام لقوى الجذب بين جزيئاته . والقانون الأساسي الذي يصف سلوك أى سائل مثالي هو قانون راؤولت Raoult's Law والذي يعبر عنه :

$$P_A = X_A P_A^{\circ} \quad (12-8)$$

حيث:

$$\begin{aligned} P_A &= \text{الضغط البخاري الجزئي للمكون A} \\ P_A^{\circ} &= \text{الضغط البخاري للسائل النقي A عند نفس درجة الحرارة} \\ X_A &= \text{الكسر الجزيئي للمكون A في المحلول.} \\ &= \text{mol Fraction of Component A in Solution} \end{aligned}$$

وعند التعامل في معاملات تجميد محاليل غذائية فإنه يتلاحظ إنخفاض نقطة تجميد الماء التي توجد به مذابات مختلفه إلى مستوى أقل من نقطة تجمد الماء النقي. ونجد أن مقدار هذا الانخفاض في نقطة التجمد يكون دالة مباشرة للوزن الجزيئي وتركيز المذاب في المنتج الغذائي وفي المحلول مع الماء . ويمكن كتابة معادلة كلوسيوس وكلايرون بالنسبة للمكون A في المحلول بإعتباره سائل مثالي ، كما يأتي (على نفس نمط الغاز المثالي):-

$$\frac{d(\ln X_A)}{dT_A} = \frac{\lambda'}{RT_A^2} \quad (12-9)$$

حيث:

$$\begin{aligned} \lambda &= \text{الحرارة الكامنة للإصهار (ك.جول/مول)} \\ X_A &= \text{الكسر الجزيئي للماء في المحلول} \end{aligned}$$

وإذا اعتبرنا أن المحلول مخفف أى أن معظمه ماء نقى فإن المعادله السابقه يمكن التعامل معها رياضيا للحصول على المعادله الآتية لحساب الانخفاض فى نقطة تجمد المحلول :

$$\Delta T = \frac{RT_{A0}^2 W_A m}{1000 L} \quad (12-10)$$

حيث:

T_{A0} = نقطة تجمد السائل النقى A (الماء) درجة مطلقه

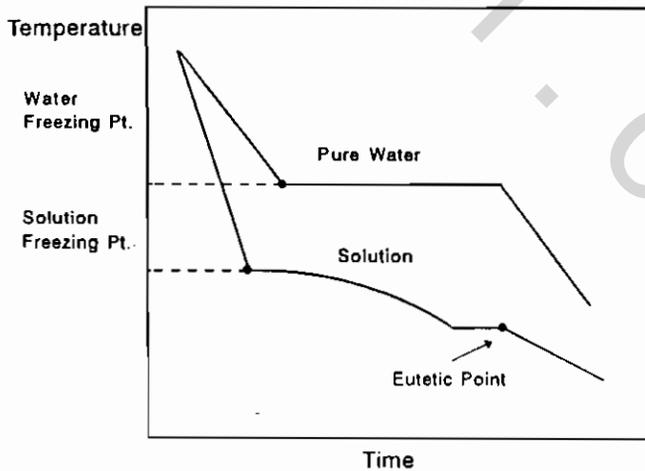
W_A = الوزن الجزيئى للمكون A

L = الحرارة الكامنه للإنصهار (ك.جول/كجم)

m = المولاليه مولات مذاب لكل كجم مذيب Molality .

تجميد المنتجات الغذائيه Freezing of Food Products

عملية التجميد الفعليه فى المنتجات الغذائيه تكون أكثر تعقيدا مقارنة بتجميد الماء النقى . والشكل (١٢-٧) يقارن بين منحنى تجميد ماء نقى مع محلول يحتوى على مذاب واحد . ويتلاحظ أنه فى حالة الماء النقى كلما أزلنا كمية من الحرارة تنخفض درجة حرارة الماء حتى الوصول إلى نقطة التجمد وإذا ما استمرت عملية إزالة الحرارة من النظام فإن ذلك يؤثر على تحول الطور من ماء فائق التبريد إلى ماء مجمد (ثلج) وذلك بإمتصاص الطاقه الكامنه للإنصهار فإذا ما تم التحول إلى الطور الصلب Solid Phase فإن درجة الحرارة تنخفض عن نقطة التجمد نتيجة لهذا التبريد الفائق.



شكل (١٢-٧) إنخفاض نقطة تجمد المحاليل

أما فى حالة المحلول الذى يحتوى على مذاب واحد فإن إزالة الطاقه الحراريه يتسبب عنها انخفاض فى درجة الحرارة حتى نصل إلى درجة التجمد الابتدائيه للمحلول والتي نلاحظ أنها أقل من درجة الحرارة الابتدائيه للماء النقى ويمكن حساب هذا الانخفاض باستخدام المعادله (١٢-٦) (معادله كلوسيسيوس وكلايبيرون). فاذا استمرت عملية إزالة الحرارة من المحلول تنخفض درجة الحرارة إلى أن تصل إلى مايسمى بنقطة التصلب Eutectic Point. ويفسر ذلك التحول بأن التجميد الابتدائى يؤدي إلى بلورة الثلج تحدث على خطوتين :

١- التنويه Nucleation أو البلورة

٢- نمو البلورة

والتنويه هى عملية الاثارة الأوليه لبدء التجميد وتتضمن تواجد أو تكوين نويات Nuclei تعتبر مراكز للتبلور تزداد فى حجمها مع زيادة معدل إزالة الطاقه الحراريه وبالتالي فإن معدل نمو البلورة يكون دالة لمعدل إحداث التجميد . وهذا المعدل يعتمد على :

أ- المعدل الذى تتفاعل عنده جزئيات الماء عند سطح البلوره .

ب- معدل إنتشار جزئيات الماء من المحلول الغير مجمد إلى سطح البلوره .

ج- المعدل الذى يتم عنده إزالة أو امتصاص الطاقه الحراريه .

ويجب ملاحظة فى نظام أى منتج غذائى فعلى يكون من المحتمل جدا تواجد أكثر من مذاب وبالتالي يمكن الوصول إلى أكثر من نقطة تصلب أثناء عملية التجميد .

ولحساب التغير الكلى فى الانتالبي أو التغير فى المحتوى الحرارى اللازم لتخفيض درجة حرارة المنتج الغذائى من مستوى معين فوق نقطة التجمد إلى درجة تخزين مرغوبه ، يمكن التعبير عنه بالمعادله التاليه :

$$\Delta H = \Delta H_s + \Delta H_u + \Delta H_L + \Delta H_f \quad (12-11)$$

حيث:

ΔH = التغير الكلى فى الانتالبي

ΔH_s = كمية الحرارة المزاله من المواد الصلبه

ΔH_u = كمية الحرارة المزاله من الماء الغير مجمد

ΔH_L = التغير فى الانتالبي نتيجة للحراره الكامنه للتجمد (الإنصهار)

ΔH_f = كمية الحرارة المزاله من الماء المجمد أو الثلج

وأى من كميات الحرارة يمكن حسابها كما يأتى :

$$\Delta H = M.Cp. (T_1 - T_F) + M.Cp. (T_F - T) \quad (12-12)$$

حيث :

$$\begin{aligned} M &= \text{كتلة أو وزن المكون} \\ Cp &= \text{الحرارة النوعية لهذا المكون} \\ T_1 &= \text{درجة الحرارة الابتدائية (قبل التجميد)} \\ T_F &= \text{درجة حرارة التجميد} \\ T &= \text{درجة حرارة التخزين (بعد التجميد)} \end{aligned}$$

أما التغير في الانثالبى نتيجة للحرارة الكامنة فيمكن حسابه من :

$$\Delta H_L = M.L \quad (12-13)$$

حيث :

$$\begin{aligned} M &= \text{كتلة الماء المجمد} \\ L &= \text{الحرارة الكامنة للتجمد} \end{aligned}$$

وعامة فإن كل من الكتلة والحرارة النوعية للمكون بعد الوصول إلى نقطة التجمد تعتمد اعتماداً وثيقاً مع درجة الحرارة ، وبالتالي فإن حسابها يكون مقرباً إذا أعتبرت أنها ثابتة أو يمكن الحصول عليها من منحنيات خاصة بالمواد الغذائية سواء الصلبة أو ذات الألياف من أصل نباتى أو حيوانى أو محاليل غذائية (عصائر - ألبان) أو مخاليط نصف صلبة (أيس كريم والجرائنيطه) حيث أن كل من الكثافة والحرارة النوعية تتغير تغيراً محسوساً بتغير درجة حرارة المادة .

حساب معدلات تجميد المنتجات الغذائية Food Product's Freezing Rates

إن من أهم إقتصاديات عمليات تجميد الأغذية هي معرفة معدل تجميد الغذاء وهو الذى سوف يتحدد به الزمن اللازم لحدوث التجميد الذى يؤثر مباشرة على جودة المنتج .

وهناك أكثر من تعريف لمعدل التجميد ولكن الأهم من التعريف هو طرق وصف معدل التجميد . وقد استقر الرأى على الطرق الأربعة الآتية :

- ١- طريقة الزمن ودرجة الحرارة
- ٢- سرعة واجهة الثلج Ice Front
- ٣- مظهر المنتج
- ٤- الطرق الحرارية Thermal Processes

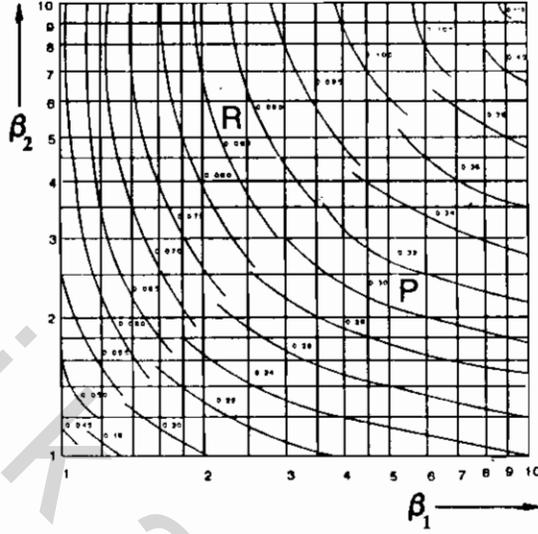
وأكثرها ملائمة فى تصمىم وتشغىل نظم التجمىد هو الزمن اللازم للوصول إلى درجة حرارة تجمىد معينة عند أبطنأ نقطه فى المنتج الغذائى. وأكثر العلاقات الرياضىه المباشرة تم إشتقاقها بواسطة العالم بلانك Plank لحساب زمن التجمىد لعدد من أشكال المنتج الهندسىة التى تتمثل فى شكل لوح رقىق Slab أو اسطوانه Cylinder أو كرة Sphere وكانت الصىغه الرياضىه العامه كما يأتى :

$$\theta_F = \frac{\rho L}{T_F - T_\infty} \left[\frac{Pa}{h} + \frac{Ra^2}{K} \right] \quad (12-14)$$

حىث:

θ	=	الزمن اللازم للتجمىد
ρ	=	كثافة المادة الغذائىه المراد تجمىدها
L	=	الحرارة الكامنه للتجمىد
T_F	=	درجة حرارة التجمىد
T_∞	=	درجة حرارة الجو المحىط بالمادة الغذائىه
h	=	معامل انتقال الحرارة بالحمل للجو المحىط
k	=	معامل انتقال الحرارة بالتوصىل للمادة المجمده
a	=	سمك اللوح أو قطر الاسطوانه أو الكره
P	=	ثابت
$\frac{1}{4}$	=	للوح اللانهاى = $\frac{1}{4}$ للاسطوانه اللانهاىه = $\frac{1}{6}$ للكره
R	=	ثابت آخر
$\frac{1}{8}$	=	للوح اللانهاىه = $\frac{1}{16}$ للاسطوانه اللانهاىه = $\frac{1}{24}$ للكره

وفى حالة أى شكل هندسى آخر فىمكن الحصول على كل من (P, R) من خرىطة خاصه بمعادله بلانك حىث يتم الحصول على قىمة ثوابت أخرى هى β_1 ، β_2 حىث β_1 هى ثابت عند ضربة فى a يكون مساويا للبعد الأصغر الثانى لجسم ثلاثى الاتجاهات أو الأوجه Three Dimensions ، وحاصل ضرب $\beta_2 \times a$ يكون مساويا للبعد الأكبر للشكل الهندسى المذكور .



شكل (١٢-٨) خريطة ثوابت معادلة بلانك للتجميد

وهناك أكثر من طريقة لحساب زمن التجميد ولكن أبسطها هي العلاقة التي توصل إليها بلانك ولو أن هناك أكثر من تعديل لها للأخذ في الاعتبار المتغيرات الحقيقية في الطبيعة والتي لا تؤثر كثيرا في التقدير. وعلى ذلك فإنه يمكن الاعتماد على حساب زمن التجميد بطريقه بلانك والذي يقل على أكثر تقدير بنسبة تتراوح بين ١٠ - ١٥٪ عن النتائج العملية عند التطبيق.

وقد قام العالم ناجوكا Nagaoka بتعديل معادلة بلانك لتكون أكثر دقة في حساب زمن التجميد وتم تجربتها على الأسماك وأعطت نتائج مرضية. وتتميز هذه المعادلة بأنها أخذت في الاعتبار كل من درجة الحرارة الابتدائية والنهائية في حين معادلة بلانك تعتمد على درجة حرارة التجمد ودرجة الحرارة المحيطة.

$$\theta_F = \left[1 + 0.0044 (T_i - T_F) \right] \left[\frac{\rho \Delta H}{T_F - T_\infty} \left(\frac{Pa}{h} + \frac{Ra^2}{k} \right) \right] \quad (12-15)$$

$$\Delta H = c_{pb} (T_i - T_F) + L + c_{pa} (T_F - T_s) \quad (12-16)$$

حيث :

hr	= θ_F	الزمن اللازم للتجمد
K	= T_i	درجة الحرارة الابتدائية
K	= T_F	درجة حرارة التجمد
K	= T_∞	درجة حرارة الجو المحيط
K	= T_S	درجة الحرارة النهائية للمادة المجمدة
	= ΔH	كمية الطاقة الحرارية المزاله من درجة الحرارة الابتدائية إلى درجة الحرارة النهائية لكل وحدة كتلة .
kJ/kg		
kg/m ³	= ρ	كثافة المادة المجمدة
W/m K	= k	معامل إنتقال الحرارة بالتوصيل للمادة المجمدة
W/m ² K	= h	معامل إنتقال الحرارة بالنقل على سطح المادة
kJ/kg K	= c_{pb}	الحرارة النوعية للمادة الغير مجمدة (قبل التجميد)
kJ/kg K	= c_{pa}	الحرارة النوعية للمادة مجمدة (بعد التجميد)
kJ/kg	= L	الحراره الكامنه للتجمد .
m	= a	سمك اللوح أو قطر الأسطوانه أو قطر الكرة

أنواع المجمدات Types of Freezers

هناك أكثر من تصميم لأجهزة تجميد وحفظ الأغذية المجمده تعتمد اساساً على نوع المنتج المراد تجميده حيث يختلف من سائل أو عجائن أو منتجات نباتيه أو حيوانيه ويعتمد كذلك على طريقة التغليف إذا ماكانت فى كرتونات أو أكياس أو علب بلاستيك أو لدائن مرنه وما إلى ذلك من مواد تغليف مختلفه .

وتعتمد المجمدات كذلك علي طريقة احداث التجميد والذى يعتمد اساسا علي درجة الجوده ومدة عرض المنتج المجمد وما اذا كان المنتج مصنع أو نصف مصنع أو خام .

وعموماً يمكن تصنيف المجمدات إلى ثلاثة نظم رئيسيه :

مجعدات دفع الهواء : Air Blast Freezers

ونظام التجميد فيها يعتمد على دفع هواء بارد بسرعة عالية جدا على المنتج المراد تجميده والذي يمكن أن يكون ساكناً أو متحركاً داخل غرف التجميد حيث يتلامس هذا الهواء الفائق التبريد مع المنتجات ذات الكثافة العالية والمغلقة في عبوات كبيرة توضع في صواني أو نظم نقل داخل حيز التجميد سواء كان النظام تجميد على دفعات أو التجميد المستمر. وتتحدد سعة النظام حسب حجم حيز التجميد وزمن التجميد اللازم للمنتج النهائي .

مجعدات الألواح Plate Freezers

حيث يتم أحداث التجميد عن طريق التلامس المباشر للمنتجات المراد تجميدها سواء مغلقة أو غير مغلقة . وعادة يتم حفظ الألواح على درجة الحرارة المرغوبة عن طريق تصميم مبخر نظام التبريد Evaporator ملامس مباشرة لمائع التبريد المستخدم. وعادة ماتصمم الألواح بحيث يمكنها الانضغاط إلى أسفل أو إلى أعلى على المنتج المراد تجميده لأحداث التجميد السريع المطلوب من تلامس مباشر مع جانبي الألواح وبذلك يتم زيادة معامل إنتقال الحرارة السطحي بأكبر قدر ممكن .

ويتلاحظ هنا أن حركة الهواء داخل مجعدات الألواح غير مطلوبه حيث الاعتماد على امتصاص الحرارة نتيجة للتلامس المباشر مع الألواح وبالتالي فإن مساحة الأرضيات تكون أقل من تلك الخاصة بمجعدات دفع الهواء وكذلك لا تحتاج إلى قدرات عالية عند التشغيل . وتستخدم مجعدات الألواح بشكل كبير في تجميد منتجات الأيس

مجعدات الغمر Immersion Freezers

هذا النوع من المجعدات يستخدم التجميد الفائق Cryogenic Freezing حيث يتم وضع المنتج المراد تجميده في حالة تلامس مباشر مع مائع التبريد عند درجة حرارة منخفضة . وعادة فإن سائل النيتروجين هو أكثر سوائل التبريد انتشاراً في نظم التجميد بالغمر نظراً لأن نقطة الغليان لسائل النيتروجين تصل إلى -196°C . وبذلك معدلات التجميد عالية جداً خاصة إذا ما كان سريان سائل النيتروجين في اتجاه معاكس لتحويل المنتج المراد تجميده .

ويلى ذلك سائل تبريد آخر وهو ثاني أكسيد الكربون السائل حيث أن له نقطة غليان تساوى -78.5°C ويتم استخدامه بشكل مماثل لسائل النيتروجين وذلك بتزويره على المنتج مباشرة .

مثال (١) :

إحسب انخفاض نقطة التجمد لمحلول يحتوى على ١٠٪ كلوريد صوديوم عند الضغط الجوى العادى .

الحل

بما أن المحلول الذى يحتوى ١٠٪ كلوريد صوديوم يعتبر محلولاً مخففاً ، فإنّه بالإمكان استخدام المعادله الآتيه .

$$\Delta T_F = \frac{R T_{A0}^2 W_A \cdot m}{1000 L}$$

حيث ان:

ΔT_F	= Freezing point depression of solution	K
R	= Universal gas constant	
	= 8.314	kJ/kg.mol K
	= 1.99	kcal/kg.mol K
T_{A0}	= Absolute temperature of solvent	K
W_A	= Molecular weight of solute (H_2O)= 18	kg./mol
m	= Molaity	mol solute/kg.solvent
L	= 333.22	kJ/kg.
	= 79.9	kcal/kg.
	= 18 x 333.22	kJ/mol
	= 18 x 79.9	kcal/mol
W_B	= Molecular weight of sodium chloride = 59	

∴ يمكن حساب المولاليه من المعادله الآتيه :

$$m = \frac{M_B \text{ (Per 1000g Solvent)}}{W_B \text{ (molecular wt. of NaCl)}}$$

$$m = \frac{100}{59} = 1.695$$

وبالتعويض في معادله انخفاض نقطة تجمد المحلول نتيجه لاضافه كلوريد الصوديوم

$$\Delta T_F \text{ (K)} = \frac{8.314 \text{ kJ}}{\text{mol K}} \cdot \frac{(273 \text{ K})^2}{1000} \cdot \frac{18 \text{ kg}}{\text{mol}} \cdot \frac{1.695 \text{ mol}}{\text{kg}} \cdot \frac{1}{(333.22 \times 18)} \cdot \frac{\text{mol}}{\text{kJ}}$$

التبريد والتجميد

$$\Delta T_F = \frac{(8.314) (273)^2 (1.695)}{(1000) (333.22)}$$
$$= 3.15 \text{ K}$$

ويمكن اجراء الحسابات بالوحدات المترية كما يأتى :

$$\Delta T_F (\text{K}) = \frac{1.99 \text{ kcal}}{\text{mol K}} \cdot \frac{(273 \text{ K})^2}{1000} \cdot \frac{18 \text{ kg}}{\text{mol}} \cdot \frac{1.695 \text{ mol}}{\text{kg}} \cdot \frac{1}{(79.9 \times 18)} \frac{\text{mol}}{\text{kcal}}$$
$$= \frac{(1.99) (273)^2 (1.695)}{(1000) (79.9)}$$
$$= 3.15 \text{ K}$$
$$\therefore T_F = - 3.15 \text{ }^\circ\text{C}$$

مثال (٢) :

إخسب درجة الحرارة التى يبدأ عندها تكوين الثلج فى مخلوط آيس كريم مكوناته ١٠٪ دهن زبد ، ١٢٪ مواد صلبة غير دهنية ، ١٥٪ سكروز ، ٦٣٪ ماء . اذا علمت بأن المذاب الذى يتم أخذه فى الإعتبار لخليط الآيس كريم هو السكروز ووزنه الجزيئى ٣٤٢ ، واللاكتوز ووزنه الجزيئى ٣٤٢ واللذين يمثلان ٥٤ر٥٪ من المواد الصلبة الغير دهنيه فى المخلوط .

الحل

يتم حساب المولالية كما يأتى:

$$\text{Fraction Solute} = \text{كسر المذاب}$$
$$= 0.15 + (0.545)(0.12)$$
$$= 0.15 + 0.0654$$
$$= 0.2154 \text{ g/g.product}$$

وبدلالة كسر الماء (نسبة الي الماء)

$$\frac{0.2154}{0.63} = 0.342 \text{ g.Solute/g.Solvent (مذيب)}$$
$$= 342 \text{ g.Solute/1000g.Solvent أو}$$
$$\therefore m = \frac{M_B (\text{per } 1000 \text{ g.Solvent})}{W_B (\text{molecular wt.of Sucrose})}$$
$$\therefore m = \frac{342}{342} = 1.0$$

وبالتعويض فى معادلة كلوسيوس وكلابيرون لحساب انخفاض نقطة تجمد المحلول نجد أن:

$$\Delta T_F = \frac{(8.314) (273)^2 (18)(1.0)}{(1000)(18 \times 333.22)} = 1.86 \text{ K}$$

$$\therefore T_F = -1.86 \text{ }^\circ\text{C}$$

مثال (٣):

يتم تجميد ١٠٠٠ كجم من السمك (محتواه المائى ٧٩٪) إلى درجة تجميد نهائية تساوى -١٠°M (حوالى ٨٥٪ من الماء متجمد). فإذا كانت الحرارة النوعية للمواد الصلبة فى المنتج ١٩ ك جول/كجم. $^\circ\text{M}$ وللماء ١٤ ك جول/كجم. $^\circ\text{M}$ وللثلج ١٩ ك جول/كجم. $^\circ\text{M}$. إحصاء احتياجات التجميد للسمك من درجة حرارة إبتدائية مقدارها $^\circ\text{M}$ علما بأن الحرارة الكامنة للإنبهار للماء = ٣٣٣.٢٢ ك جول/كجم.

الحل

لكى نتخيل عملية التجميد تفصيلا نوضحها فى الرسم التخطيطى التالى :

$T > T_F$	ماء غير مجمد		مادة صلبة M_S	درجة حرارة أكبر من درجة التجمد
	M_U			

$T < T_F$	ثلج	ماء غير مجمد	مادة صلبة M_S	درجة حرارة أقل من درجة التجمد
	M_I	M_U		

$T \ll T_F$	ثلج	ماء غير مجمد	مادة صلبة M_S	درجة حرارة أقل بكثير عن درجة التجمد
	M_I	M_U		

التغير الكلى فى الانثالبيا أو المحتوى الحرارى من مستوى معين فوق نقطة التجمد إلى درجة تخزين مرغوبه يمكن حسابها من المعادلة الآتية :

$$\Delta H = \Delta H_S + \Delta H_U + \Delta H_L + \Delta H_I$$

فإذا كانت درجة الحرارة الابتدائية قبل التجميد هى :

$$T_1 = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

وكانت درجة الحرارة النهائية (التخزين) هى :

$$T = -10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

وحيث أن :

$$\Delta H = M c_p \Delta T$$

لكل من كمية الحرارة المزاله من المادة الصلبه S ، وللماء الغير مجمد U ، وللثلج (الماء المجمد) I.

وكانت كمية الحرارة الكامنه المحسوسه فى الانثالبيا هى :

$$H_L = M_I L$$

فتكون خطوات حساب احتياجات التجميد كما يأتى :

أ- كتلة المادة الصلبه

$$M_S = (1 - 0.791) (1000)$$

$$M_S = 209 \text{ kg}$$

ب- كتلة الماء الغير مجمد

$$M_U = (1 - 0.85)(0.791) (1000)$$

$$M_U = 118.65 \text{ kg}$$

ج- كتلة الماء المجمد (الثلج)

$$M_I = (0.85)(0.791) (1000)$$

$$M_I = 672.35 \text{ kg}$$

وبالتعويض فى المعادلات السابقه تكون :

كمية الحرارة المحسوسه المزاله من المواد الصلبه

$$\Delta H_S = (209)(1.5) (5 + 10)$$

$$\therefore \Delta H_S = 4702.5 \text{ kJ.}$$

كمية الحرارة المحسوسة المزالة من الماء الغير مجمد

$$\Delta H_U = (118.65)(4.1) (5 + 10)$$

$$\therefore \Delta H_U = 7297 \text{ kJ.}$$

كمية الحرارة المحسوسة المزالة من الماء المجمد (الثلج)

$$\Delta H_I = (672.35)(1.9) (0 + 10)$$

$$\therefore \Delta H_I = 12774.65 \text{ kJ.}$$

كمية الحرارة الكامنه

$$H_L = (672.35)(333.22)$$

$$H_L = 224040.46 \text{ kJ.}$$

∴ احتياجات التجميد الاجماليه :

$$\Delta H = 4702.5 + 7297 + 12774.65 + 224040.46$$

$$\therefore \Delta H = 248814.61 \text{ kJ}$$

ملحوظة :

أعتبرت درجة حرارة تجمد السمك الابتدائية تساوى صفر °م حيث أنها لم تعطى في المسأله .

مثال (٤):

لحم بقر خالى من الدهون على شكل قالب يتم تجميده فى مجمد يعمل بدفع الهواء
 Air Blast Freezer درجة حرارة الجو المحيط باللحم داخل المجمد يساوى -٣٠° م ،
 ومعامل انتقال الحرارة بالحمل يساوى ٢٠ وات/متر مربع كلفن ، ودرجة الحرارة
 الابتدائية للحم تساوى ٥° م ودرجة حرارة المنتج المجمد -١٠° م . فإذا كانت كتلة اللحم
 ابعادها ١ متر × ٢٥ متر × ٠٦ متر ، وكثافة اللحم ١٠٥٠ كجم/مترمكعب ، ومعامل
 التوصيل الحرارى للحم يساوى ١٠٨ وات /متر. كلفن اعتبر أن نقطة التجميد
 الابتدائية للحم -١٧٥° م والمحتوى المائى للحم المجمد ٧٤٪ وإحسب الزمن اللازم
 للوصول إلى درجة حرارة -١٠° م . قارن النتيجة إذا ما استخدمت معادلة ناجوكا فى
 حساب زمن التجميد علما بأن الحرارة النوعية للحم قبل التجميد تساوى ٢١ وات/كجم
 كلفن والحرارة النوعية للحم المجمد ٢١ وات/كجم كلفن.

الحل

نستخدم معادلة بلانك معادلة (١٢-١٤) لحساب زمن التجميد .

$$\theta_F = \frac{\rho L}{T_F - T_\infty} \left[\frac{Pa}{h} + \frac{Ra^2}{k} \right]$$

ونحتاج لحساب قيمة كل من الثوابت P , R فى هذه المعادلة إلى حساب قيمة

β_1 , β_2 والخريطة الرابطة بين قيمهما وكل من ثوابت المعادلة P , R كما يلى :

أ- ايجاد قيمة من β_1 , β_2

$$\beta_1 = \frac{0.6}{0.25} = 2.4$$

$$\beta_2 = \frac{1}{0.25} = 4$$

$$P = 0.3$$

ونستخدم الخريطة التى نجد منها

ب- يتم عكس قيم كل من β_1 , β_2

$$\beta_1 = 4$$

$$\beta_2 = 2.4$$

$$R = 0.085$$

ومن نفس الخريطة نجد أن

ج- يتم الحصول على قيمة الحرارة الكامنة للانصهار L طبقاً للمحتوى المائى للمنتج

$$L = (333.22) (0.745) = 248.25 \text{ kJ/kg.}$$

$$\therefore \theta_F = \frac{(1050 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) (248.25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) (1000 \frac{\text{J}}{\text{kJ}})}{(-1.75 - (-30 \text{ }^\circ\text{C})) \left(3600 \frac{\text{sec.}}{\text{hr.}}\right)} \times$$

$$\left[\frac{(0.3)(0.25)}{\left(30 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}\right)} + \frac{(0.085) (0.25)^2}{\left(1.108 \frac{\text{W}}{\text{m K}}\right)} \right]$$

$$\therefore \theta_F = \left(2563.1 \frac{\text{J hr}}{\text{m}^3 \text{ }^\circ\text{C}}\right) \left(0.0025 \frac{\text{m}^3 \text{K}}{\text{W}} + 0.0048 \frac{\text{m}^3 \text{K}}{\text{W}}\right)$$

$$\theta_F = 18.7 \text{ hrs.}$$

ملحوظة :

$$1 \text{ Watt} = 1 \frac{\text{Joule}}{\text{sec.}}$$

د- يتم حساب كمية الطاقة الحرارية المزالة من درجة الحرارة الابتدائية إلى درجة الحرارة النهائية وذلك باستخدام المعادلة الآتية :

$$\begin{aligned} \Delta H &= C_{pb} (T_i - T_F) + L + C_{pa} (T_F - T_s) \\ &= (3.1) (5 + 1.75) + (2.1) (-1.75 + 10) \\ &= 20.925 + 248.25 + 17.325 \\ &= 286.5 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

ويتم حساب زمن التجميد باستخدام معادلة ناجوكا (معادلة ١٢-٥)

$$\therefore \theta_F = \left[1 + 0.0044 (T_i + T_F)\right] \left[\frac{\rho \Delta H}{T_F - T_\infty} \left(\frac{pa}{h} + \frac{Ra^2}{k} \right) \right]$$

$$= \left[1 + 0.0044 (5 + 1.75)\right] \frac{(1050)(286.5) (1000)}{(-1.75 + 30) (3600)} \times \left[\frac{(0.3)(0.25)}{30} + \frac{(0.085)(0.25)}{1.108} \right]$$

$$\theta_f = (1.0297) [(2957.96) (0.0073)]$$
$$= 21.6 \text{ hrs.}$$

$$\text{Difference} = 21.6 - 18.7$$
$$= 2.9 \text{ hrs}$$

i.e about 15.5% higher than the time calculated based on Plank's Equation.

obeikandi.com

مسائل عامه

- ١- اذا كان المحتوى الرطوبى للقراصيا الطازجة ٧٠٪ ومحتواها الرطوبى بعد التجفيف ١٦٧٪ ، أوجد :
- أ - نسبة الرطوبه للقراصيا قبل وبعد التجفيف .
ب- كمية الرطوبة الواجب طردها من ١٥كجم من القراصيا الطازجة .
ج - نسبة التجفيف .
- ٢- ماهى كمية الماء الذى يجب تبخيره من ١٠٠ كجم من الفاكهه الطازجة التى محتواها الرطوبى ٨٠٪ لكى يصل محتواها الرطوبى الى ٢٠٪ اوجد نسبة التجفيف ؟
- ٣- ماهو وزن الفاكهه الطازجة التى محتواها الرطوبى ٧٥٪ والتى يمكن منها انتاج ١٠٠ كجم من الفاكهه المجففه التى محتواها الرطوبى ٢٥٪ ؟ ماهى كمية الرطوبه المتبخرة ؟
- ٤- طن واحد (١٠٠٠ كجم) من نوع من الغلال محتواه الرطوبى ٢٥٪ يراد تجفيفه بحيث يصل محتواه الرطوبى الى ١٤٪ احسب :
- ١- كمية الرطوبه الواجب تبخيرها .
٢- وزن المادة بعد التجفيف .
٣- نسبة الرطوبة قبل وبعد التجفيف .
٤- نسبة التجفيف .
- ٥- طن واحد من نوع من الخضروات محتواه الرطوبى ٣٥٪ يراد تجفيفه بحيث يصل محتواه الرطوبى الى ١٠٪ . احسب :
- ١- كمية الرطوبه الواجب ازلتها بالتجفيف .
٢- وزن المادة بعد التجفيف .
٣- نسبة الرطوبه قبل وبعد عملية التجفيف .
٤- نسبة التجفيف .

٦- ١٨٢٠٠ كجم من الذرة محتوها الرطوبى ٢٥٪ يلزم تجفيفها الى محتوى رطوبى مقداره ١٢٪ بواسطة مجفف يستخدم ٤٢٥ متر مكعب من الهواء فى الدقيقه عند درجة حرارة جافه ٤٥°م فاذا كان الهواء الجوى عند درجة حرارة جافه ٢١°م ودرجة حرارة رطوبة ١٨°م ويخرج الهواء من المجفف عند درجة حرارة جافه ٣٢°م. احسب :

- ١- نسبة الرطوبه للذره قبل وبعد التجفيف.
- ٢- وزن المادة الجافه.
- ٣- وزن الرطوبه الواجب ازلتها.
- ٤- الوقت اللازم لاتمام عملية التجفيف.
- ٥- كمية الحرارة الواجب اضافتها للهواء .

٧- مجفف نفق يستخدم ٨٥ متر مكعب من الهواء فى الدقيقه لتجفيف نوع من الخضروات من محتوى رطوبى ٤٠٪ الى محتوى رطوبى ١٢٪ ومقدار ما ينتجه من المادة الجافه ١١٥ كجم فى اليوم . اذا كانت المروحه المستخدمه فى دفع الهواء تعمل عند ضغط مقداره ٦٩٠٠٠٠ بار وكفاءتها ٧٥٪ وكثافة الهواء ١.٢ كجم/م^٣ اوجد :

- ١- القدرة الحصانيه اللازمه لادارة المروحه .
- ٢- نسبة الرطوبه قبل وبعد التجفيف.
- ٣- وزن الرطوبه الواجب ازلتها.
- ٤- نسبة التجفيف.

٨- مجفف صوانى يستخدم ٣٤٠ متر مكعب من الهواء فى الدقيقه عند درجة حرارة ٥٠°م لتجفيف شرائح من البصل من محتوى رطوبى ٩٠٪ الى محتوى رطوبى ٤٪ ومقدار ما ينتجه من البصل المجفف ٢٢٥ كجم. فاذا كان الهواء الجوى يدخل المجفف عند درجة حرارة جافه ٢٧°م ورطوبه نسبويه ٦٥٪ ويسخن الى ٥٠°م ويخرج الهواء من المجفف عند درجة حرارة جافه ٣٨°م احسب :

- ١- نسبة الرطوبه فى الماده قبل وبعد التجفيف .
- ٢- وزن البصب قبل عملية التجفيف .
- ٣- وزن الرطوبه الواجب ازلتها .
- ٤- كمية الحرارة الواجب اضافتها للهواء الجوى .
- ٥- الوقت اللازم لاتمام عملية التجفيف .

٩- وحدة تجفيف بالرش تستخدم لتجفيف عصير البرتقال وتتكون من سيكلون التجفيف وضغط تردى للهواء وطمبة طاردة مركزيه لدفع عصير البرتقال . والمطلوب تقدير القدرة الحصانيه لكل من الموتور اللازم لادارة الطلمبه والاخر اللازم لادارة الضاغط وذلك من المعلومات الآتية :

- وزن الهواء المراد ضغطه فى الدقيقه = 2.27 كجم فى الدقيقه
 درجة حرارة الهواء عند دخوله اسطوانه الضاغط = 21° م
 الضغط المطلق للهواء عند دخوله الضاغط = 1.34 بار
 الضغط المطلق للهواء داخل جهاز التجفيف = 6.2 بار
 الضغط اللازم لتذرية عصير البرتقال عند الرشاش = 9.3 بار
 كمية عصير البرتقال المطلوبه للتجفيف = 45.5 كجم فى الدقيقه
 كثافة عصير البرتقال = $1.73.24$ كجم/متر مكعب
 الكفاءة الميكانيكيه لكل من الضاغط والطمبه = 75%

اعتبر ان الضاغط يتحرك داخل الاسطوانه اديباتيكيا تبعا للقانون $Pv^{1.4} = \text{Const.}$

- ١- مجفف صوانى يستخدم 280 متر مكعب من الهواء فى الدقيقه عند درجة حرارة 28° م لتجفيف 68 كجم من شرائح البطاطس من محتوى رطوبى 85% الى محتوى رطوبى 5% فاذا كان الهواء الجوى يدخل المجفف عند درجة حرارة جافه 21° م ورطوبة نسبسيه 70% ويسخن الى 43° م ويخرج الهواء من المجفف عند درجة حرارة جافه 35° م احسب :
 - ١- نسبة الرطوبه فى البطاطس قبل وبعد التجفيف .
 - ٢- وزن البطاطس المجفف .
 - ٣- وزن الرطوبه الواجب ازلتها .
 - ٤- كمية الحرارة الواجب اضافتها للهواء الجوى .
 - ٥- الوقت اللازم لاتمام عملية التجفيف .

١١- مجفف صوانى يستخدم ٣٤٠ متر مكعب من الهواء فى الدقيقه لتجفيف طن واحد من شرائح البصل من محتوى رطوبى ٩٠٪ الى محتوى رطوبى ٥٪ فاذا كان الهواء الجوى يدخل المجفف عند درجة حرارة جافه 18°C ورطوبه نسبيه ٨٠٪ ويسخن بحيث تكون درجة حرارة البصل ثابته اثناء التجفيف عند درجة حرارة 24°C ويخرج الهواء من المجفف عند درجة 30°C احسب :

- ١- نسبة الرطوبه قبل وبعد التجفيف .
- ٢- وزن شرائح البصل المجفف.
- ٣- وزن الرطوبه الواجب ازلتها.
- ٤- كمية الحراره الواجب اضافتها للهواء الجرى .
- ٥- الوقت اللازم لاتمام عملية التجفيف .

١٢- يراد تجفيف حبوب بمعدل ٩٠.٨٠ كجم يوميا من محتوى رطوبى ٤٠٪ الى محتوى رطوبى ١٠٪ فاذا كانت الرطوبه المطلقه للهواء الداخلى الى المجفف ٧٠٠٠٠٠ كجم رطوبه /كجم هواء جاف وللحواء الخارج من المجفف ١٦٠٠٠٠٠ كجم رطوبه/كجم هواء جاف وكانت كثافة الحواء ١.٢٨ كجم/متر مكعب . احسب:

- ١- القدره الميكانيكيه اللازمه لدفع الحواء داخل الحبوب اذا كان الضغط المقابل يعادل ٥سم ماء وكفاءة الموتور المستخدم ٧٥٪.
- ٢- الطاقه الكهربيه بالكيلووات ساعه اللازمه لتسخين الحواء من درجة حرارة 24°C الى 80°C .

١٣- مجفف نفق يستخدم لتجفيف بلع من محتوى رطوبى ٦٠٪ الى ٢٠٪ سعته ٢٥ عربيه بكل منها ١٢ صنيه حمولة كل منها ١١.٥ كجم بلع وتستغرق عملية التجفيف ٤ ساعات فاذا كان الحواء يدخل الى مسخن المجفف عند 26°C ، ٧٠٪ رطوبه نسبيه ويتم تسخينه الى 60°C ويخرج الحواء من المجفف عند 43°C . احسب:

- ١- نسبة الرطوبه قبل وبعد التجفيف.
- ٢- كمية الرطوبه الواجب ازلتها فى الساعه.
- ٣- نسبة التجفيف.
- ٤- كمية الحراره الواجب اضافتها للهواء معبراً عنها بالحصان البخارى.
- ٥- قدرة المروحه اللازمه لدفع الحواء اذا كان ضغط تشغيلها ٦٩٠٠٠٠٠ بار وكفاءتها ٧٥٪.

١٤- ماهى سعة وحدة التبريد اللازمة لتبريد ٤٥٠٠ كجم من اللبن بعد بسترتة على درجة حراره 65°م الى درجة حرارة 15°م اذا علمت ان نسبة الدهن والمواد الصلبة الاخرى باللبن 12.5% وان عملية التبريد تستغرق ٦ ساعات مع استخدام الماء فى التبريد الاولى حتى تصل درجة حرارة اللبن الى 5°م . علما بان كفاءة وحدة التبريد بمشتملاتها 90% .

١٥- اذا كانت عملية فصل الاحماض الدهنيه من زيت بذرة القطن تستلزم تبريد الزيت الى 15°م وتستغرق هذه العملية ثلاث ساعات . احسب سعة وحدة التبريد اللازمة لمصنع يقوم بانتاج ٢٨٠٠ كجم من الزيت يوميا اذا علمت ان الحرارة النوعيه للزيت 1.7 . ودرجة حرارته قبل عملية التبريد 40°م وكفاءة وحدة التبريد 70% .

١٦- غرفة تبريد تستخدم وسيط مبرد من مخلوط من الماء والملح فاذا كانت درجة حرارة المخلوط الملحي عند دخول الغرفه 10°م ودرجة حرارته بعد مروره بالغرفه 7°م وحرارته النوعيه 0.8 . ومقدار سريانته 55 كجم/ساعه فما هى سعة وحدة التبريد فى اليوم علما بان كفاءة وحدة التبريد الكليه 80% .

١٧- ماهى سعة وحدة التبريد اللازمة لامداد مصنع اغذية بمياه الشرب المثلجه اللازمه لعماله اذا علمت ان عدد العمال 74 عاملا ، والكميه المقدرة لشرب العامل يوميا حوالى لتر ماء مثلج ودرجة حرارة الماء بعد تبريده 10°م ومتوسط درجة حرارة المنطقه 44°م وكفاءة وحدة التبريد 85% .

١٨- ماهى سعة وحدة التبريد اللازمه لمعمل يقوم بفصل الشمع من غشيم القصب اذا كانت الكميه المبرده يوميا من خليط الشمع والزيت 225 كجم وتبرد من درجة 50°م إلى 5°م وحرارتها النوعيه 0.85 . وعدد ساعات التبريد ٥ ساعات .

١٩- ثلاجة تجاريه تعمل بطريقتة التبريد بالضغط تستخدم لحفظ 670 كجم من اللحوم عند درجة حرارة 6°م لمدة ساعه واحدة . احسب الشغل اللازم لادارة الضاغط اذا علمت ان عدد لفاته 100 لفة/دقيقه وان سعة وحدة التبريد 15 حصان ميكانيكى لكل طن تبريد فى الساعه وان اللحم يدخل الثلاجة عند درجة حرارة 10°م . اعتبر ان الحرارة النوعيه للحم تساوى 1.7 .

٢٠- ماهى سعة وحدة التبريد بوحدات طن تبريد/يوم اللازمه لحفظ درجة حرارة ثلاجة للبرتقال ثابتة على 5°C بينما الجو الخارجى الملامس للثلاجة فى درجة حرارة 30°C اذا علمت ان جوانب الثلاجه وسقفها مصنوع من الخشب بسمك 2.5 سم والمساحه السطحيه للثلاجه 475 متر مربع ومعزوله بقوالب صوف زجاجى مضغوط بسمك 3 سم وكفاءة وحدة التبريد 80% علما بان معامل انتقال الحرارة بالتوصيل للخشب = 0.45 ر. وللصوف الزجاجى = 0.1 ر. كيلوكالورى/ساعه. متر $^{\circ}\text{C}$ ومعامل انتقال الحرارة بالنقل للهواء الخارجى الملامس للثلاجة = 2 كيلوكالورى/ساعه متر $^{\circ}\text{C}$ وللهواء الداخلى = 1.5 كيلوكالورى/ساعه متر $^{\circ}\text{C}$.

٢١- ثلاجة تجاريه تعمل بطريقة التبريد الصناعى بالضغط تستخدم لحفظ 670 كجم من اللحوم عند درجة حرارة 6°C لمدة 8 ساعات ، ويدخل اللحم الثلاجة عند درجة حرارة 10°C وحرارته النوعيه 0.7 كيلوكالورى/كجم $^{\circ}\text{C}$ اذا كانت المساحه السطحيه لجدار الثلاجه 40 مترمربع والجدران مكونه من خشب بسمك 5 سم ومعزوله بقوالب صوف زجاجى مضغوط بسمك 3 سم ودرجة حرارة الجو الخارجى الملامس لجدران الثلاجه 20°C . احسب سعة وحدة التبريد الكلية بالطن تبريد فى اليوم اللازمه علما بان :

معامل انتقال الحرارة بالنقل للجو الخارجى = 2.5 كيلوكالورى/ساعه متر $^{\circ}\text{C}$.
 معامل انتقال الحرارة بالتوصيل للصوف الزجاجى = 0.1 ر. كيلوكالورى/ساعه متر $^{\circ}\text{C}$.
 معامل انتقال الحرارة بالتوصيل للخشب = 0.25 ر. كيلوكالورى/ساعه متر $^{\circ}\text{C}$.
 معامل انتقال الحرارة لجو الثلاجة الداخلى = 1.5 كيلوكالورى/ساعه متر $^{\circ}\text{C}$.
 كفاءة وحدة التبريد 80% =

٢٢- ثلاجة عرض تعمل بطريقة التبريد الصناعى بالضغط تستخدم لحفظ مواد غذائيه مقدارها 1000 كجم يوميا عند درجة حرارة 5°C . تدخل المواد الغذائيه الثلاجة عند درجة 20°C والحرارة النوعيه المتوسطه لهذه المواد 0.62 . كيلوكالورى/كجم $^{\circ}\text{C}$. اذا كانت جدران الثلاجه مكونه من خشب بسمك 5 سم

معامل انتقال الحرارة بالتوصيل للصوص الزجاجى = ١.٠ ر. كيلوكالورى/ساعة متر. °م
 معامل انتقال الحرارة بالتوصيل لاسفلت السطح = ٣٥ ر. كيلوكالورى/ساعة متر. °م
 معامل انتقال الحرارة بالعمل لجر الثلجة الداخلى = ١٥ ر. كيلوكالورى/ساعة متر. °م
 كفاءة وحدة التبريد = ٨٥٪

٢٤- ماهى سعة وحدة التبريد بوحدات طن تبريد فى اليوم اللازمه لحفظ درجة حرارة ثلجة للبرتقال ثابتة على ٥°م بينما الجو الخارجى للثلجة فى درجة حرارة ١٥°م اذا علمت ان جوانب الثلجة وسقفها مصنوع من الخشب بسمك ٢٥سم والمساحة السطحية للثلجة ١٥ مترمربع ومعزوله بقوالب صوف زجاجى مضغوط بسمك ٤سم وكفاءة وحدة التبريد ٨٠٪ علما بان معامل انتقال الحرارة بالتوصيل للخشب : ٥ ر وللصوص الزجاجى = ١.٠ ر. كيلوكالورى/ساعة متر. °م . . ومعامل انتقال الحرارة بالنقل للهواء الملامس لجدران الثلجة من الخارج = ٢٥ ر كيلوكالورى/ساعة متر. °م ، ومعامل انتقال الحرارة بالنقل لجو الثلجة الداخلى = ١٥ ر كيلوكالورى/ساعة متر. °م .

٢٥- ثلجة تبريد للمواد الغذائية تتحمل حمل تبريدى قدرة ١٢ طن تبريد ودرجة حرارة المكثف والمبخر هى ٣٠°م ، -١٠°م على الترتيب . فاذا كان الضاغط المستخدم ذو اسطوانتين فردى التأشير ويدور بسرعة ٢٠٠ لفة/الدقيقة كما ان مقدار الارتفاع فى درجة حرارة ماء التبريد بالمكثف يساوى ٥°م . اذا كان مائع التبريد المستخدم ١ - فريون ١٢ ٢ - ركلين ١١٢٤ أنسب:

- أ - سعة وحدة التبريد .
- ب- كمية الحرارة المفقودة فى المكثف .
- ج- معامل الاداء للثلجة .
- د - وزن مائع التشغيل اللازم .
- هـ- القدرة المطلوبة للضاغط .
- و - ابعاد اسطوانة الضاغط اذا كان قطر الاسطوانة يساوى طول المشوار .
- ز - كمية ماء التبريد اللازم لتبريد السائل بالمكثف

٢٦- ثلاجة تبريد تتحمل حمل قدرة ٢٠ طن تبريد ودرجة حرارة المبخر والمكثف

25°C ، 12°C على الترتيب فاذا كان الضاغط ذو (٦) اسطوانات ويدور بسرعة ١٥٠٠ لفة/الدقيقة مزدوج التأثير . أحسب :

أولا : للأمونيا ثانيا : للفريون ١٢

- أ - سعة التبريد.
- ب- كمية الحرارة المفقودة في المكثف.
- ج- معامل الجودة للثلاجة.
- د - كمية مائع التشغيل اللازم .
- هـ- القدرة المطلوبه للضاغط .
- و - ابعاد اسطوانة الضاغط اذا كانت نسبة طول المشوار الى قطر الاسطوانه = ١.٢٢ .
- ز - كمية ماء التبريد اللازم لتبريد مائع التشغيل بالمكثف اذا كان ارتفاع درجة حرارة مائع التبريد بالمكثف تساوى 5°C .

٢٧- ثلاجة تبريد تعمل مره بالفريون ١٢ ومرة أخرى بركلين ١١٢٤ كعناص تشغيل

بالتبريد و درجة حرارة مكثفها 25°C ودرجة حرارة مبخرها 10°C علما بان الضاغط يقوم بضغط الفريون ايزنتروپى من ضغط المبخر الى ضغط المكثف أوجد معامل الجودة للثلاجة فى الحالات الآتية :

- ١- بدون استخدام مبادل حرارى .
- ٢- باستخدام مبادل حرارى لتبريد مائع التبريد المشبع من درجة صفر 0°C الى درجة 6°C .

٢٨- ثلاجة تبريد تعمل تحت حمل تبريدى قدرة ١٠ طن تبريد عند درجة حرارة

10°C وضغط يعمل شغل قدرة ٥٠ كيلوكالورى/كجم وذو اسطوانتين وعدد لفاته ١٥٠٠ لفة/الدقيقة فردى التأثير وبمبادل حرارى لتبريد السائل المشبع

المكثف الخارج من المكثف بواسطة مياه ومقدار ارتفاع درجات حرارة المبادل 10°C . احسب :

- ١- معدل سريان مائع التبريد فى الدقيقه فى حالة استخدام النوشادر ، وحالة استخدام ركلين ١١٢٤ .
- ٢- قدرة الضاغط بالحصان الميكانيكى .
- ٣- كمية ماء التبريد/الدقيقه .

٢٩- ثلاجة تجاريه تعمل بطريقة التبريد الصناعى بالضغط لمانع تبريد ، تستخدم لحفظ ٥٠٠ كجم من اللحوم المجمده عند درجة -١٠م° - ويدخل اللحم الثلجة عند درجة حرارة ٢٥م° ليتم تجميده فى ٨ ساعات علما بان درجة تجميد اللحم هى -٢٠م° والحرارة النوعيه قبل التجمد ٠.٧٧. والحرارة النوعيه بعد التجميد هى ٤ر. كيلوكالورى/كجم م°. والحراره الكامنه لانصهار اللحم هى ٥٦ كيلوكالورى لكل كجم اذا كانت المساحه السطحيه لجدار الثلجة ٢٩ متر مربع والجدران مكونه من خشب بسمك ٤سم وصوصف زجاجى بسمك ٢سم ودرجة حرارة الجو الخارجى الملامس لجدران الثلجة ٣٠م° وان معامل انتقال الحرارة للمواد هى :-

معامل انتقال الحرارة بالحمل للجو الخارجى = ٨.٧ كيلوكالورى/ساعه متر^٢. م°
 معامل انتقال الحرارة بالتوصيل للزجاج = ٠.٣٧. كيلوكالورى/ساعه متر. م°
 معامل انتقال الحرارة بالتوصيل للخشب = ٠.١٤٩. كيلوكالورى/ساعه متر. م°
 معامل انتقال الحرارة بالحمل لجو الثلجة الداخلى = ٤.٩ كيلوكالورى/ساعه متر^٢. م°

احسب مايتى لكل من مانع تبريد أ - فريون ١٢ ، ب - ركلين ١١٣٤
 ١- الحمل الحرارى مقدرا بالطن تبريد مع اعتبار ٢٥٪ احتياطى خدمه .
 ٢- القدره اللازمه وكذا قطر اسطوانة الضاغط الذى عدد لفاته ١٥٠٠ لفة/دقيقه مزدوج التأثير.
 ٣- كمية ماء التبريد فى المكثف علما بان مقدار الارتفاع فى درجة الحرارة ١٠م°.

٣٠- ثلاجة تبريد للمواد الغذائيه تعمل بالضغط لمانع تبريد من ضغط المبخر (١٥ر) جوى) الى ضغط المكثف (٩ جوى) ويخرج الغاز من الضاغط بدرجة حرارة ٨٠م° ليدخل المكثف ويبرد بواسطة ٧٥ر كجم/دقيقه . وترتفع درجة حرارة ماء التبريد بمقدار ١٠م° .

أ - وقع الدوره على خريطة مانع التبريد اذا كان المانع فريون ١٢ او ركلين ١١٣٤ .

ب- ارسم الدوره موضعا جميع اجزائها .
 ج- احسب حمل التبريد للثلاجة فى كلا الحالتين.

٣١- ثلاجة تبريد للحوم تعمل مره على مائع التبريد فريون ١٢ ومره أخرى على مائع التبريد ركلين ١١٣٤ ذات حمل تبريدى مقداره ٢٥ طن تبريد ودرجة حرارة المكثف والمبخر ٢٠ م° ، -١٠ م° على الترتيب بحيث تكون انتروبيا الغاز بعد الضغط ١٦١٦ كيلوكالورى/كجم م° فى حالة الفريون ١٢ ، ١٨٠ كيلوجول /كيلو جرام كلفن .

احسب :

- ١- سعة التبريد .
 - ٢- كمية الحرارة المفقوده بالمكثف فى كلا الحالتين .
 - ٣- معامل اداء الثلاجه .
 - ٤- معدل سريان مائع التبريد .
 - ٥- القدرة المطلوبه لتشغيل الضاغط فى كلا الحالتين .
 - ٦- معدل سريان ماء التبريد بالمكثف اذا كان $\Delta t = 8^\circ \text{م}$
- ٣٢- ثلاجة تبريد تعمل على مائع تبريد الفريون ١٢ ومره اخرى مائع التبريد ركلين ١١٣٤ ويتم تشغيلها يوميا لمدة ٨ ساعات لتبريد ٥ طن خضروات من درجة حرارة الحقل (٢٠ م°) الى درجة حرارة الحفظ (-١٠ م°) فاذا اعتبرت البيانات الآتية :

- الحرارة النوعيه للخضروات = ٠.٧ كيلوكالورى/كجم م°
- معامل انتقال الحرارة بالحمل للهواء الخارجى والداخلى للثلاجه = ٦ ، ٢ كيلوكالورى/ساعه .متر^٢ . م°
- ابعاد الثلاجه ٥ × ٦ × ٦ متر
- حرارة التنفس للخضروات = ٧٠٠ كيلوكالورى/طن.يوم . احسب ماياتى :-
- ١- الحمل التبريدى للثلاجه مع اعتبار كمية حرارة الخدمه والطوارىء = ٢٥٪ .
- ٢- معدل سريان مائع التبريد بالكيلوجرام/دقيقه .
- ٣- القدرة الميكانيكيه اللازمه لادارة الضاغط .
- ٤- هل يمكن استخدام ضاغط ذو اسطوانتين قطر وطول اسطوانة ١٠ ، ١٢ سم بالترتيب ويدور بسرعه ١٥٠٠ لفة/دقيقه ؟

٢٣- إحسب زمن التجمد اللازم لقطعة ستيك من اللحم البقرى على هيئة لوح رقيق سمكه ٢.٥ ر. متر ويمكن اعتبار طوله لانهاى. وضعت قطعة اللحم فى مجمد يعمل بتيار الهواء البارد المدفوع درجة حرارته -٢٠ م° ومعامل إنتقال الحرارة بالحمل يساوى ٢٠ وات/متر مربع.كلفن . اذا علمت أن :

كثافة اللحم المجمد	١.٥ كجم/متر مكعب
الحرارة الكامنه لانصهار الثلج	٢٢٣ر٢٢ ك.جول/كجم
المحتوى المائى للجم	٦٥٪
معامل إنتقال الحرارة بالتوصيل للجم	١ر٣٥ وات/متر .كلفن
الحراره النوعيه للماء الغير مجمد	٢ر٥٠ ك.جول/كجم . م°
الحرارة النوعيه للثلج	١ر٧٥ ك.جول/كجم . م°
الحراره النوعيه للمادة الصلبه	١ر٥٠ ك.جول/كجم . م°

ماذا تكون إحتياجات التجميد اذا كانت درجة الحرارة الابتدائيه ٢٠ م° ودرجة حرارة تجمد قطعة اللحم - ٢٧٥ م° ؟

٢٤- نفق للتجميد الفورى السريع (Instant Quick Freezing IQF) يستخدم لتجميد الفراوله طول السير الناقل ٦ متر. ويستخدم دفع الهواء البارد كوسط للتجميد درجة حرارته -٢٤ م° ويتحرك الهواء البارد خلال مرقد المنتج ينتج عنه معامل إنتقال الحرارة السطحى ٨٥ وات/مترمربع كلفن. وتدخل الفراوله النفق عند درجة حرارة ٥ م° ويتعين تجميدها إلى -٢٠ م° ، إذا علمت أن :-

كثافة حبات الفراوله	٩٦ كجم/مترمكعب
معامل إنتقال الحرارة بالتوصيل	٢ر٠٨ وات/متر.كلفن

باعتبار أنه يمكن تقريب شكل حبة الفراوله على أنها كرة قطرها ١٢ ر. متر ، إحسب زمن التجميد وسرعة الناقل اللازمه لذلك .

٢٥- إحسب نقطة تجمد لبن خالى الدهن (Skim milk) علما بان مكوناته هي : ٥١٪ لاكتوز ، ٢٦٪ بروتين ، ٠.٨٪ دهن ، ٠.٢٪ مواد معدنيه ورماد ، ٩.٢٪ ماء مع اعتبار أن وجود اللاكتوز سيكون له الأثر الغالب على نقطة التجمد . (الوزن الجزيئى للاكتوز ٣٤٢).

٢٦- إذا كانت نقطة تجمد عصير العنب تساوي -18°م ومحتواه المائي عند هذه الدرجة 84.7% إحصب الوزن الجزيئي الفعال لعصير العنب .

٢٧- تم تعبئة عصير الفراولة فى عبوة مقاسها (٠.٤ . متر × ١ . متر × ١.٤ . متر) وتدخل العبوات مجمد ألواح درجة حرارة الجو المحيط بها -20°م ومعامل انتقال الحرارة السطحي يساوى 25 وات/مترمربع كلفن وتدخل العبوة إلى المجمد عند درجة حرارة 5°م فإذا علمت أن المحتوى المائي للفراولة 83.4% ومعامل انتقال الحرارة بالتوصيل المكافئ (مادة العبوة وعصير الفراولة) يفترض أنه 2 وات/متر.كلفن وكثافة الفراولة 960 كجم/مترمكعب. مستخدماً خرائط التجميد إحصب الزمن اللازم لتجميد عصير الفراولة .

٢٨- إحصب الزمن اللازم لتجميد قطعة من اللحم على شكل لوح رقيق سمكة 5 سم وكانت ظروف التشغيل كما يأتى :

$5^{\circ}\text{م} =$	درجة الحرارة الابتدائية للحم
$-5^{\circ}\text{م} =$	درجة حرارة تجميد اللحم
$-25^{\circ}\text{م} =$	درجة حرارة اللحم المجمد النهائى
$-20^{\circ}\text{م} =$	درجة حرارة الجو المحيط باللحم
4 . ك.كالورى/كجم $^{\circ}\text{م} =$	الحراره النوعيه للحم قبل التجميد
9 . ك.كالورى/كجم $^{\circ}\text{م} =$	الحراره النوعيه للحم بعد التجميد
1.0 كجم/مترمكعب $=$	كثافة اللحم
8 . ك.كالورى/كجم $=$	الحرارة الكامنه للتجميد
145 ك.كالورى/ساعه.متر $^{\circ}\text{م} =$	معامل انتقال الحرارة بالتوصيل للحم
18 . ك.كالورى/ساعه.مترمربع. $^{\circ}\text{م} =$	معامل انتقال الحرارة بالنقل للسطح

قارن الزمن باستخدام طريقة بلانك مع طريقة ناجوكا .

obeikandi.com

References **المراجع**

اولا : المراجع الاجنبيه :

- ASHRAE Guide and Data Book (1988), Applications American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers.
- Batty, J. Clair, and Steven L. Folkman, (1984), Food Engineering Fundamentals, John Wiley and sons, Inc.
- Brennan, J.G., Butters, J.R., Cowell, N.D., and Lilly, A.E.V. (1990) Food Engineering Operations, 3rd ed. Elsevier Science Publishing Co., New York.
- Carslaw H.S., J.C. Jaeger. (1959), Conduction of Heat in Solids. Second edition. Oxford at the Clarendon Press.
- Charm, Stanley E., (1978), Fundamentals of Food Engineering, AVI Publishing Co., Westport, Connecticut.
- Cruess. W.V. (1958), Commercial Fruit and Vegetable Products. Fourth edition. McGraw-Hill Book Company, INC. New York Toronto London.
- Daniels, Farrington, Robert A. Alberty. (1957). Physical Chemistry. Fourth edition. John Wiley & Sons. Inc. New York, London.
- Desrosier, N.W., J.N. Desrosier. (1977), The Technology of Food Preservation. Fourth edition. AVI Publishing Company, INC. Westport, Connecticut.
- Doolittle Jesse S. (1964). Thermodynamics for Engineers. Second edition. International Text-book Company Scranton, Pennsylvania.
- Eckert, E.R.G. , Robert M. Drake, Jr. (1959) Heat and Mass Transfer. Second edition. McGraw-Hill Book Company, INC. New York, Toronto.

- El-Sahrigi, Ahmed F., (1981), Thermodynamic Properties of Steam, and Transient Heat Transfer Charts. Faculty of Agriculture, Ain Shams University.
- Farrall Arthur W. (1976), Food Engineering Systems, Vol. 1. AVI Publ. Co., Westport, Connecticut.
- Farrall Arthur W. (1979), Food Engineering Systems, Vol. 2. AVI Publ. Co., Westport, Connecticut.
- Foust, A.S., L.A. Wenzel, C.W. Clump, L.Maus and L.B. Andersen. (1960), Principles of Unit Operations. New York, John Wiley & Sons, INC. London.
- Harper John C. (1976), Elements of Food Engineering. The AVI Publishing Company, INC., Westport, Connecticut.
- Heldman, Dennis R., and R. Paul Singh, (1980), Food Process Engineering, Second Edition, AVI Publishing Co., Westport, Conn.
- Henderson S.M. & R.L. Perry. (1976), Agricultural Process Engineering Third edition. The AVI Publishing Company, INC Westport. Connecticut.
- Joslyn, Maynard A., and J.H. Heid, (1963), Food Processing Operations, Vol. I., AVI Publishing Co., Westport, Connecticut.
- Mayhew, Y.R., and G.F.C.Rogers, (1974), Thermodynamic and Transport Properties of Fluids. S.I. Units, Second Edition, Oxford Basil Blackwell.
- Schwartzberg, Henery G., and M.A.Rao (1990), Editors, Biotechnology and Food Process Engineering. IFT Basic Symposium Series, Marcel Dekker, Inc., New York and Basel.
- Toledo, Romeo T.,(1991), Fundamentals of Food Process Engineering, 2nd ed. Van Nostrand Reinhold, New York.

المراجع

- Treybal Robert E. (1955), Chemical Engineering Series. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, Toronto London.
- Van Arsdel, W.B., Copley, M.J. and Morgan, A.J., Jr. (1973), Food Dehydration, 2nd Edition, Vol. 1 and 2. AVI Publishing Co., Westport, Conn.
- Watson, E. L., and Harper, J. C. (1988). Elements of Food Engineering, 2nd ed. Van Nostrand Reinhold, New York .
- Zemansky Mark W. (1957), Heat and Thermodynamics. McGraw-Hill Book company, INC. New York Toronto London.

ثانيا : المراجع العربيه :

- أ.د. أحمد فريد السهريجي (١٩٦٨ ، ١٩٨٠) .
مذكرات هندسة التصنيع الزراعى .
كلية الزراعة / جامعة عين شمس
- أ.د. صلاح الدين محمود النبوى ، أ.د. يوسف امين والى ، أ.د. أحمد فريد السهريجي ، أ.د. عادل سعد الدين عبد القادر ، أ.د. أحمد أحمد جويلقى ، أ.د. يحيى محمد حسن (١٩٧٠) .
الحاصلات البستانيه إعدادها وانضاجها وتخزينها وتصديرها .
دار المعارف بمصر .
- أ.د. محمود مصطفى غنيم (١٩٦٤ ، ١٩٦٧) .
الهندسه الحراريه جزء أول ، ثانى .
مطبعة المعرفه - القاهره .