الباب الثانى عشر

التبريد والتجميد COOLING AND FREEZING

نظريات التبريد

الحفظ باستخدام درجات الحرارة المنخفضة :

ويقصد بذلك حفظ المواد الغذائيه 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 الاغذيه لبيعها فى كثير من المناطق القطبيه ، الا انه فى المناطق الاخرى التى لاتتوفر فيها هذه الظروف فتستخدم عمليات تبريد صناعية . ويمكن تعريف التبريد بانه 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 للتفاوت فى درجات الحرارة التى يمكن الوصول اليها واستخدامها فى حفظ الاغذيه فانه يختلف التاثير الحافظ لهذه الدرجات على الاغذيه المختلفه تبعا لعوامل فسادها . فاذا استخدمت درجات حرارة تبلغ حدا من الانخفاض يكفى لتجميد المادة الغذائيه ولن يتم ذلك الا باستخدام درجات حرارة اكثر انخفاضا من درجات تجميد هذه المواد ويطلق على هذه الطريقة اسم الحفظ بالتجميد Freezing Preservation وعادة تتراوح درجات حرارة تجميد الاغذية بين -٢°م الى -٢٨°م.

الوسائل المستخدمه فى خفض درجات الحراره :

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 الحراره المنخفضة المطلوب الوصول اليها وكذلك باختلاف امكانيات العمليه ذاتها . ويقسم التبريد الى نوعين اساسيين هما :

أولا : التبريد الطبيعى :

أ- استخدام الثلج العادي :

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

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

ودرجة حرارة انصهاره حوالى الصفر المئوى ، فاذا وجد فى جو حار فينصهر بامتصاص كمية من حرارة الجو وبالتالى يتم تبريده . الا انه غالبا لايمكن ، عن طريق استخدام الثلج وحده مهما زادت الكميه المستخدمه بالنسبه للحيز المراد تبريده ، الوصول بدرجات الحراره الى درجات اقل من صفر الى -٤°م . لذلك فانه لايوفى باغراض التبريد لمدة طويله نسبيا او لحيازات كبيرة نوعا بطريقة يمكن استخدامها فى التبريد تجاريا ، هذا الى جانب الحاجه 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 الي رفع نسبة الرطوبه بها الي جانب اعتبار الثلج نفسه أحد مصادر التلوث لبعض الاغذيه ، لذلك فان هذه الوسيله لاتفى بأغراض التبريد التجارى الا انها لازالت تستخدم فى بعض الحالات المحدودة فى تبريد الفاكهه والخضروات لامتصاص حرارة الحقل وكذلك فى تبريد اللحوم والاسماك للتخلص من الحراره المنبعثه منها .

ملحوظة :
وتقدر الحراره 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 :

والتى 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 أساس 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 لايتم الا بامتصاص كمية مناسبه من الحراره 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 صوره مجروشه .

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

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

النسبه المئويه للملح فى المخلوط (نسبه وزنيه)	درجة حرارة المخلوط	
	م°	ف°
صفر	صفر	٣٢
٥	-٢ر٨	٢٧
١٠	-٦ر٨	٢٠
١٥	-١١ر٧	١١
٢٠	-١٦ر٨	١ر٥
٢٥	-٢٣ر٣	-١٠

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 - ١٠٦ الى - ١٢٣°ف) فوجد انها تساوى ٢٤٦ر٣ 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 الحديديه اذ ان وزنه خفيف ولايترك اثرا للماء ولا يتفاعل مع جدران السيارات كما انه عديم الرائحه وغير قابل للاشتعال .

ثانيا : التبريد الصناعى :

ويعتمد على استغلال الحراره 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 الحراره الكامنه لتكثيفها الى سائل مره اخرى وذلك يستلزم ملامستها لجسم درجة حرارته اقل من درجة حرارة تبخر هذه السوائل . ويمكن الوصول الى 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 الى سائل تحت ضغط مرتفع .

ويمكن تلخيص نظرية التبريد الصناعى بالقوانين الآتيه :

١- تمتص السوائل عند تبخرها الحراره الكامنه اللازمه للتبخر من حرارة الهواء المحيط بها ، وبذلك يمكننا خفض درجة حرارة غرفة محدودة الحجم معزوله عن الخارج بان نمرر داخلها سائل يمتص حرارته الكامنه من الغرفه لكى 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 الى سوائل عند تغيير الضغط الواقع عليها عند درجات حرارة معينه ، وبذلك يمكننا تحويل الغازات الناتجة عن تبخر سوائل التبريد داخل الغرفه الى سوائل مره اخرى وذلك بتغيير الضغط الواقع عليها والاستفاده منها مره اخرى بامرارها داخل الغرفه وهكذا . وتتم هذه العمليه بواسطة ضغط الغازات الناتجة عن تبخر السائل بواسطة مكابس خاصه وبذلك ترتفع درجة حرارة تكثيفها عن الجو المحيط بها فيسهل التخلص من حرارتها الكامنه وتحويلها الى الحالة السائله .

أنواع السوائل المبرده : Refrigerants

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

١- أنخفاض درجة حرارة التبخر والتكثيف .
٢- يلزم لتبخرها او تكثيفها كمية كبيرة من الحراره الكامنه .
٣- سهولة ضغط ابخرتها لتحويلها الى الحالة السائله .
٤- ذات حجم نوعى صغير (كثافتها عاليه) .
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 مايأتى :-
١- الفريون بجميع مركباته (فريون ١١ - ١٢ - ٢١ - ٢٢ - ١١٣ - ١١٤).
٢- ثانى اكسيد الكبريت .
٣- ثانى اكسيد الكربون .
٤- النشادر .
٥- كلوريـد الميثيل .
٦- البيوتان .

وقد لاحظ علماء الفيزياء والبيئه على مدى نصف القرن الماضى أن هناك تغير ملحوظ فى درجات الحراره وكمية الاشعاعات على سطح الكره الأرضيه. وحيث أنه من المعروف علميا بأن هناك طبقه كثيفه تسمى طبقة "الأوزون" تمثل غطاءً كيماويا فى الأجواء العليا . وهذه الطبقه تساهم فى حماية كوكب الأرض عن طريق تحديد حجم الأشعه فوق البنفسجيه التى تصل إليه من أشعة 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 طبقة الأوزون .

وقد قامت الوكالة الدوليه للأرصاد الجويه بمراقبة إتساع ثقب الأوزون على مدى الأربعين عاما الماضيه والتى قد بلغت مساحته الآن حوالى عشرة ملايين كيلومتر مربع وهى توازى مساحة القارة الأوروبيه تقريبا . وأكدت الوكالة أن مساحة الثقب الذى اخترق طبقة الأوزون فوق المنطقه القطبيه الجنوبيه قد تضاعف خلال العام الماضى وأنه فى اتساع مستمر بمعدل ١٪ يوميا .

ونتيجة لذلك إتخذت المنظمه الدوليه للبيئه التابعه للأمم المتحدة عدة قرارات والتى 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 سمى R134a (Refrigerent 134a) تركيبه الكيمائى Tetrafluoroethan 1, 1, 1,2 ورمزه $CH_2\ FCF_3$ وأعطى الأسم التجارى Reclin 134a وله نفس الخصائص الطبيعيه والكيمائيه لموائع التبريد الأخرى ويتميز عن موائع مركبات الفريون من حيث الغازات والأبخرة الناتجه عنه لايحدث عن تفاعلها مع طبقات الجو العليا إختراق لطبقة الأوزون الحاميه للأرض من الاشعاعات الضاره .وتوجد شركات متخصصه فى انتاج هذه الموائع وتأخذ رموز تعبر عن كل شركة مثل G, R .....

ويجب مرعاة النقاط الآتيه عند اختيار سائل معين لاستعماله بوحدات التبريد المختلفه :

١- <u>التفاعلات الكميائيه</u> :

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

٢- <u>وجود رطوبة بوحدات التبريد</u> :

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 بوحدة التبريد . ويحدث عكس ذلك بالنسبه للفريون بجميع مركباته اذ ان الماء لايذوب فى هذه المركبات ، ووجود الرطوبه يسبب انسداد المواسير حيث يتجمد ويهدد حدوث انفجار

بوحدة التبريد خصوصا فى المناطق التى يكون بها الضغط مرتفع ويوضع عادة فى مواسير سائل الفريون مرشح لامتصاص الرطوبه التى قد تكون عالقه به حتى لاتتعرض وحدة التبريد لاخطار حدوث انسداد فى المواسير .

ويعتبر سائل الفريون من اكثر السوائل استعمالا ، ويوجد عدة مركبات له يرمز لها بارقام مختلفه هى فى الواقع اسمائها التجاريه 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 الرئيسيه للتبريد الصناعى :

أولا : التبريد الصناعى بالضغط : Compression System

ويعتبر من الطرق الشائعه الاستعمال فى الاغراض المنزليه والتجاريه نظراً لكفاءةتها العاليه وبساطة تصميمها ، وتتلخص دورة التبريد بالضغط فى الخطوات الآتيه :

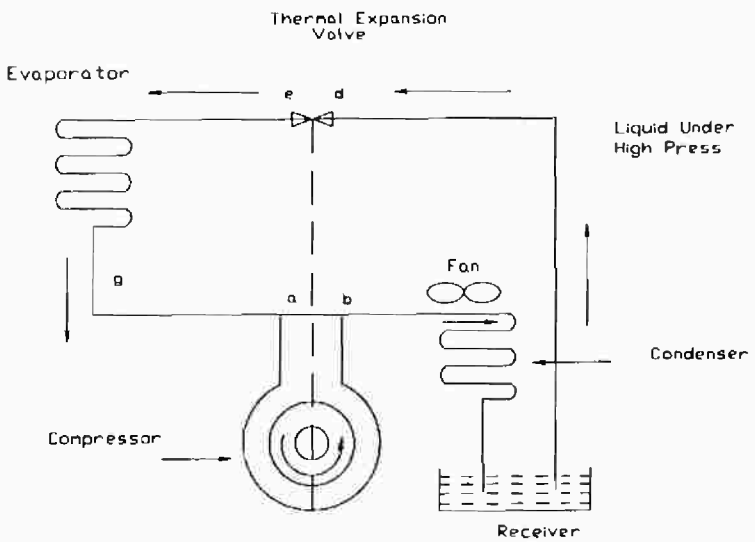
١- تبخر السائل المبرد تحت ضغط منخفض حيث يمر السائل فى انابيب المبخر Evaporator (الجزء الذى توجد حوله الماده المراد تبريدها) ويكون ضغط السائل منخفضا فتكون درجة حرارة تبخيره منخفضة ولكن يتحول من الحالة السائله الى الحاله الغازيه يمتص الحراره اللازمه لتبخيره من الجو المحيط به وبذلك تنخفض درجة حرارة الماده المراد تبريدها .

٢- ضغط الغاز الناتج لرفع درجة حرارة تكثيفه ويتم ذلك بواسطة ضاغط الغاز ، وتكون وظيفة الضاغط خفض ضغط الغاز فى المبخر من جهة ورفع ضغطه فى الجهه الاخرى من الضاغط وبذلك ترتفع درجة حرارة الغاز عند درجة حرارة المنطقه المحيطه به .

٣- تكثيف هذا الغاز على درجة حرارة مرتفعه حيث يمر الغاز داخل انابيب الكثف التى تكون محاطه بالماء او الهواء وينتج عن ذلك ان الغاز يفقد حرارته الكامنه ويتحول الى سائل تحت ضغط مرتفع ويجمع السائل الناتج فى مستودع او قابله Receiver ويكون الماء المستخدم فى التكثيف عادة على شكل رذاذ من رشاشات (دش) ويمكن اعادة تمريره بواسطة طلمبه صغيره . ويكون الكثف فى الوحدات الكبيره على شكل مبادل حرارى يحيط بمواسير السائل المبرد ويحدث تجديد

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 وتبخره ، وتتم هذه العمليه 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 الترموستاتيكى او صمام الانتشار Thermal Expansion Valve.



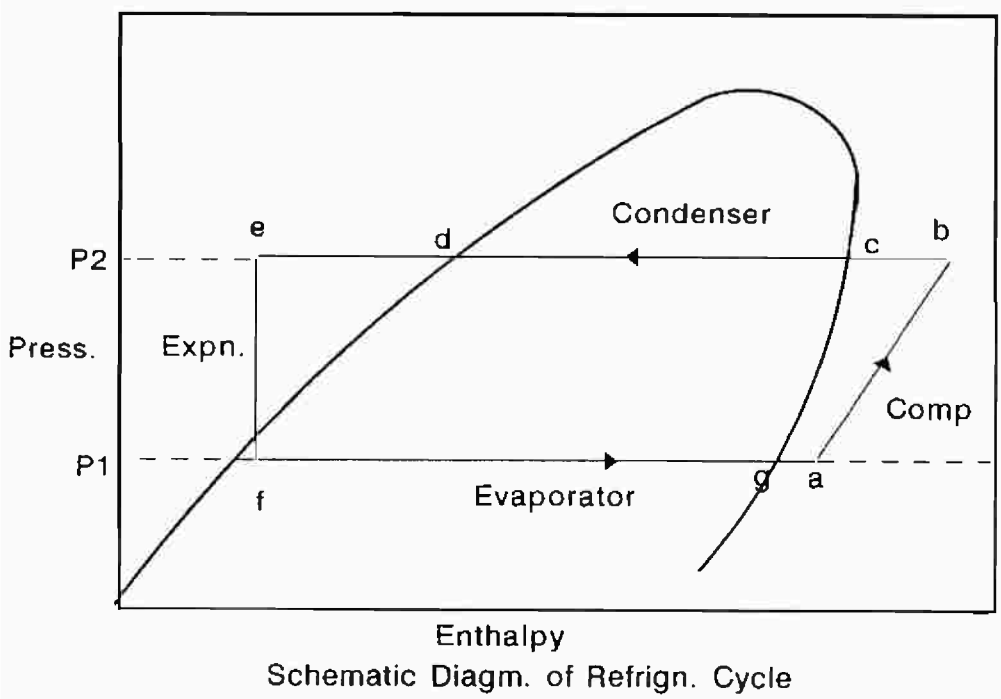
Compression Refrigeration System

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 الحراره للسائل المبرد اثناء مروره بالاجهزه المختلفه لدورة التبريد ، وفيه يمر السائل المبرد من القابله فى حالة بين الحالتين d , e الى صمام الانتشار الثرموستاتيكى عند الحاله e حيث يتحول السائل المبرد الى مخلوط من السائل والغاز الى ان يصل الى الحاله g حيث

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

يتكون المبخر عادة من مجموعه من الانابيب يتحول فيها السائل المبرد من الحاله السائله الى الحاله الغازيه ، وتوجد داخل غرفة التبريد ووظيفتة الاساسيه هو امتصاص الحراره اللازمه لتبخير السائل المبرد من الجو المحيط به (المواد المراد تبريدها).



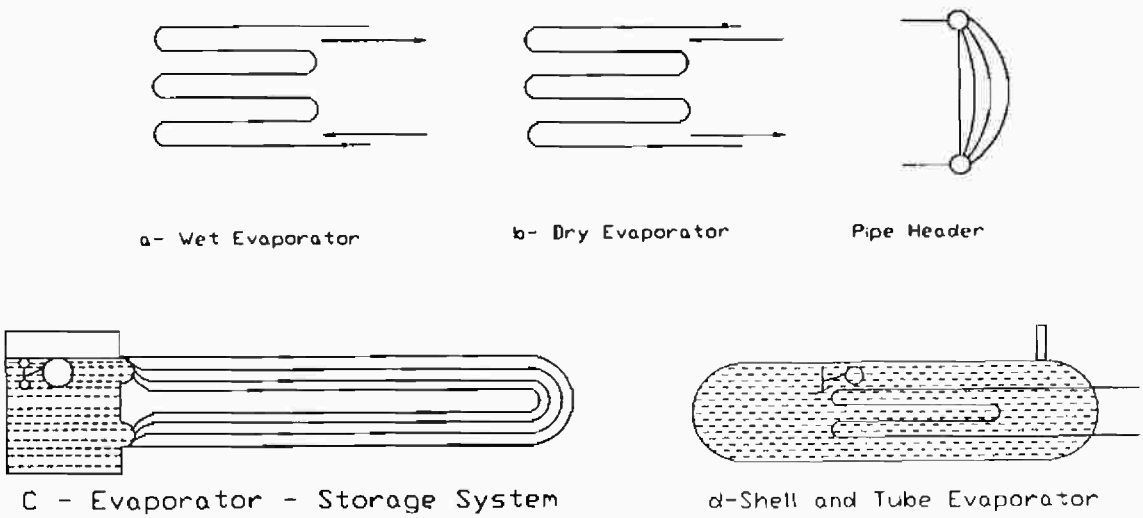
Schematic Diagm. of Refrign. Cycle

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

شكل (١٢-٢) يمثل العلاقه بين الضغط الواقع على السائل المبرد وكمية الحراره

الأجزاء 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 لايؤثر على النحاس ، فى حين تستعمل أنابيب من الصلب فى حالة استخدام النشادر او ثانى اكسيد الكبريت وذلك لتأثير النشادر على النحاس وذلك فى حالة الرغبه فى احداث تبريد فى غرفة ما الى درجة حرارة اعلى من ٣٤°ف أو ١°م وخاصة اذا كان الهواء هو الوسيط فى نقل الحراره 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 ٣٤°ف او الصفر المئوى 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 BTU./hr.^{o}F ft^{2} من سطح المواسير أو 12 kCal/hr. ^{o}C. m^{2}، اما اذا لامست المواسير محلول ملحى او أى سائل ساكن فكمية التبادل الحرارى تزيد الى 10 BTU./hr.^{o}F ft^{2} من سطح المواسير أو حوالى 50 kCal/hr.^{o}C.m^{2} ويمكن زيادة كمية التبادل الحرارى باحداث اثاره للهواء او السائل المحيط بمواسير التبريد بواسطة التقليب بمروحة او طلمبه .

ويمكن استخدام بعض الانواع التاليه كمبخرات :

أ- المبخر المبلل : **Wet Evaporator**

وهو يتكون من ماسوره واحدة او عدة مواسير متصله بمجمع Headerويدخل السائل الى المواسير من اسفل ويمر الى اعلى كما هو مبين فى شكل (١٢-٣أ).

ب- المبخر الجاف : **Dry Evaporator**

يماثل 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 الحراره اكثر انتظاما داخل المخلوط كما هو مبين فى شكل (١٢-٣ب). كما انه اذا حدث وجود زيوت مختلطه 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 (١٢-٣جـ).

د- المبخر من النوع الاسطوانى ذو الانابيب الداخليه :
Shell and Tube Evaporator:

وهو مماثل للنوع المغمور ، ويكون خزان التجميع فى هذه الحاله عباره عن اسطوانه تمر بداخلها مجموعة من الانابيب تحمل السائل المراد تبريده كما هو مبين فى شكل (١٢-٣د).

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 الحاله 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

الضغط المانومترى رطل قوه/بوصه^2	القدرة حصان/(طن تبريد/ ساعه)	الضغط المانومترى كجم قوه/سم^2	القدره حصان/(طن تبريد/ ساعه)
٢٠	١ر٠٠	٢ر٥	١ر٠٨
١٥	١ر١٢	٢ر٠	١ر٢٨
١٠	١ر٢٨	١ر٥	١ر٥٧
٥	١ر٥٤	١ر٣٣	١ر٩٧
صفر	١ر٧٦	١ر٠	٢ر٠٠
-٥	٢ر٢٧	٠ر٧	٢ر٤٥

ج- ايجاد فرق فى مقدار الضغط الواقع على سائل التبريد وبذلك يعمل على استمرار دورة التبريد بانتقال السائل المبرد من مكان الى أخر ، 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 .

٣- المكثفات : Condensers

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

أ- التبريد بالهواء :

ويتكون المكثف فى هذه الحالة من مواسير افقيه ذات زعانف رأسيه لوحدات التبريد التى يلزم لها حوالى ٣ حصان كقوة محركة . 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 او القابله : Receiver

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

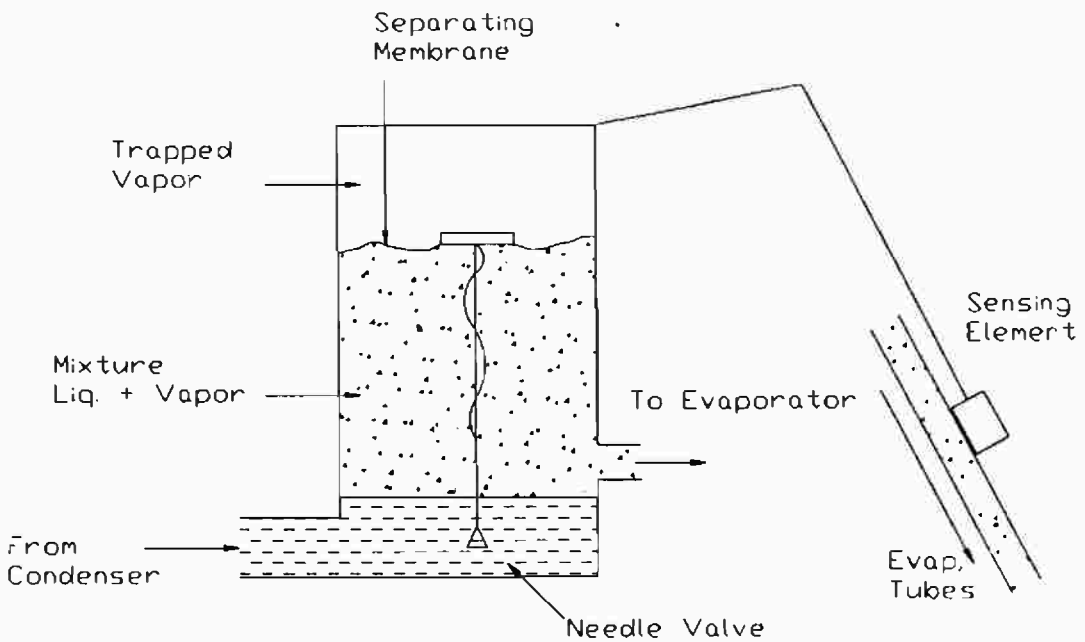
٥- صمام التمدد او الانتشار Thermal Expansion Valve

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 .

جـ- يعمل على تزويد المبخر بشحنه ثابته مناسبه من السائل المبرد وذلك حسب احتياجات التبريد .



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

وصمام الانتشار المعروف بالثرموستاتيكى ، يعتمد اعتمادا كليا على التغير فى درجة حرارة الغاز المتبخر من السائل المبرد نتيجة لتحميصه عند نهاية انابيب المبخر .

ويتركب من جسم الصمام وبه فتحه 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 فى مقدار فتحته صمام الابره Needle Valve مثبت على غشاء مرن Diaphragm يمكن تحريكها الى أعلى واسفل ويوجد خلف هذه القاعده المرنه غرفه تتصل بجزء حساس Sensing Elementبصمام للتحكم يوجد عند نهاية انابيب المبخر ، ويوجد بهذه الغرفه غاز معين محبوس داخلها ، ويكون عادة من نفس السائل المبرد ولكن لايوجد اتصال بينه وبين السائل المبرد المار فى انابيب المبخر . وتعتمد طريقة عمل صمام الانتشار على ارتفاع درجة حرارة الوسيط نتيجة لتحميصة فاذا ارتفعت درجة حرارة الغاز الموجود فى المبخر عن الدرجة المصمم عليها فترتفع تباعا درجة حرارة الغاز المحبوس مسببا تمدده ضغطا على القاعده المرنه لصمام الابره وبذلك يفتح صمام الابره ويسمح بمرور شحنه من السائل المبرد المتكثف فتقل درجة الحراره وهكذا تستمر العمليه .

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 شحنه جديده من الوسيط .

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

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

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

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 الداخل 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 . وبالتالى يمكن الوصول الى درجات تبريد منخفض 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
جـ- 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 .

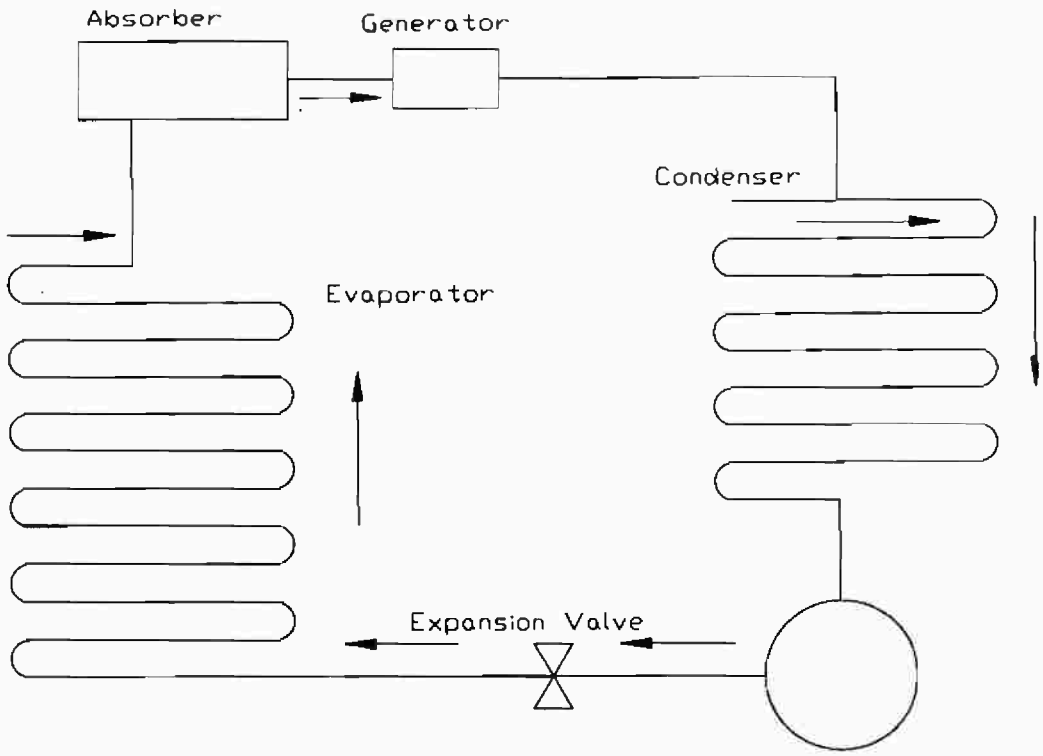
والعوامل التى تتسبب فى تقليل ضغط السحب هى :

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 .

جـ- عدم ازالة طبقة الثلج التى قد تكون متكونه على اسطح انابيب المبخرمما يسبب تقليل كفاءة التبادل الحرارى .

ثانيا : التبريد الصناعى بالامتصاص : Absorption system



شكل (١٢-٥) التبريد الصناعى بالمتصاص

لاتختلف كثيرا النظريه الاساسيه للتبريد الصناعى بالامتصاص عن نظام الضغط باستثناء بعض النقاط التاليه :

١- يشترط فى دورة التبريد الصناعى بالامتصاص استخدام سائل مبرد له قابلية الامتصاص داخل سائل أخر مثل استخدام النشادر كسائل مبرد له قابلية الامتصاص فى الماء .

٢- لايستخدم الضاغط فى دورة التبريد الصناعى بالامتصاص ولكن يستخدم بدلا منه قابلة ومولد يقومان بوظيفة الضاغط الرئيسيه كما يأتى :

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

ب- يقوم المولد بوظيفة الضاغط الاخرى وهى رفع درجة حرارة تكثيف السائل المبرد نتيجة لضغطه وذلك بان نسخن محلول 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 لايؤثر 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 الاغذيه والالبان طبقا لطريقة مرور السائل المبرد وطريقة استخدامه داخل غرف التبريد وتشمل احدى الطريقتين التاليتين :

أولا : طريقة التبريد المباشر : Direct Cooling

وفى هذه الطريقه 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 الطريقه فى غرف التجميد السريع لارتفاع كفاءتها ، وفى غرف التبريد الصغيره لقلة تكاليف انشائها، وفى الثلاجات 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 الاشتعال 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 ازالتها بصفه مستمرة.

ثانيا : طريقة التبريد غير المباشرة : Indirect Cooling

يستخدم فى هذه الطريقه وسيط مبرد مثل محلول ملحى 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 الملحى بخزانات احتياطية يوجد داخلها ملفات مبخر وحدة التبريد ، وتعتمد وظيفة هذه الخزانات الاحتياطيه على درجة تركيز المحلول الملحى .

ويمكن الوصول الى درجة حرارة منخفضه 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 .

واذا كانت درجة تركيز المخلوط الملحى 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 لايحدث عنه تلف للاغذيه ولاتتعرض 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 الملحى .

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 بغرضين مهمين فى وقت واحد :-

١- امتصاص الحراره من المادة المراد تبريدها وكذلك من غرفة التبريد بصفه عامة حتى تنخفض درجة حرارتها اى تبريدها .

٢- حفظ درجة حرارة غرفة التبريد ثابته 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 لاتتحمل 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 الحراره المرتفعه .

الشروط الواجب توافرها فى المواد العازله :

١- رخص ثمنها حتى يمكن استخدامها تجاريا بطريقة اقتصادية.
٢- عديمة الرائحه حتى لاتكتسب 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 اكفأ الوسائل لعزل الحرارة ، ولكن استعمال هذه الطريقة من الناحية التجاريه محدود وذلك لارتفاع تكاليف احداث 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 ثابته ، 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 النواحى التجاريه لعزل غرف التبريد، وتزداد كفاءته فى العزل كلما زادت مساحة الفراغات الهوائيه المقفله . ويستخدم الفلين عادة على هيئة الواح تلصق بالجدران على طبقة واحدة او عدة طبقات ، ويجب طلاء سطح الفلين الداخلى الملامس للجدار بطبقة من الاسفلت السائل كعازل للرطوبه والسطح الخارجى بطبقة من الاسمنت المخلوط بمادة عازله للرطوبه .

وعموما تستخدم الواح الفلين بسمك ٧ر٥ سم اذا كانت درجة حرارة غرفة التبريد ٢°م فاكثر ، وسمك 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 دهان الجدران بالاسفلت السائل كعازل للرطوبه .

٤- الخشب :

تستعمل الواح الخشب فى عزل الحراره 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 الفلينى . ومن عيوب الخشب انه يمتص الرطوبه 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 مضغوطه وفى هذه الحاله 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 مغلقه ، للمواد العازله الاخرى لحمايتها من الرطوبه .

٧- **السيلوتكس** : **Celotex**

وتعتبر هذه المادة من المنتجات المحلية المستحدثه 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 الحبيبى الناتج من الياف 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 والصودا الكاويه والسلت بنسبة معينه .

الاشتراطات الواجب توافرها فى الثلاجات التجاريه عند انشائها:

يراعى عند انشاء الثلاجات 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 مرعاة 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 بالغرفه الى داخلها خصوصا عند فتح الابواب .

٤- عند تخزين ثمار الفاكهه والخضر يراعى أن تكون درجة حرارة الغرفه مناسبه للثمار المراد تخزينها حتى لاتتدهور .

٥- يشترط عند تصميم غرفة التبريد تزويدها بمراوح حتى يكون هناك حركة مستمرة للهواء تمنع تراكم الغازات الناتجه عن تنفس المواد المخزنه حول انسجة المحصول ويمكن عمل ذلك باحدى الطرق الآتيه :-

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 كيمائيه معينه لامتصاص هذه الغازات الضاره . وتستخدم مادة الاسكاريت Ascarite لامتصاص غاز ثانى اكسيد الكربون وهى عباره عن اسبستوس مشبع ومغطى بمادة الصودا الكاويه وتستخدم مادة الفحم البرومى المنشط Activated brominated charcoal لامتصاص غاز الايثلين .

ج- تجديد الهواء بالتهويه Ventilation وذلك لطرد نواتج العمليات الحيويه من الغازات الضارة وامدادها 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 الناتجه عن عملية التنفس وبذلك يمكن التخلص منها .

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

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

جدول (١٢-٣) انسب ظروف تخزين بعض ثمار الخضر والفاكهه

المحصول	درجة الحرارة المثلى (°م)	الرطوبه النسبيه بالمخزن (٪)	طول مدة التخزين بالتقريب	المحتوى الرطوبى (٪)	الحراره النوعيه (ك جول/كجم °م)
البطاطس	٣-١٣	٩٠	٤-٨شهر	٨١,٢	٠,٨٥
الجزر	صفر	٩٠-٩٥	٤-٥شهر	٨٨,٢	٠,٩٠
اللفت	صفر	٩٠-٩٥	٤-٥شهر	٩٠,٩	٠,٩٣
الفجل	صفر	٩٠-٩٥	١٠-١٢شهر	٧٣,٤	٠,٧٨
البنجر بعروش	صفر	٩٠-٩٥	١٠-١٤يوم	-	-
بدون عروش	صفر	٩٥	٣-٥شهر	٨٧,٦	٠,٩٠
البصل	صفر	٦٥-٧٠	٦-٨شهر	٨٧,٥	٠,٩٠
الثوم	صفر	٦٥-٧٠	٦-٨شهر	٧٤,٢	٠,٧٩
الكرنب	صفر	٩٠-٩٥	٣-٤شهر	٩٢,٤	٠,٩٤
القنبيط	صفر	٩٠-٩٥	٢-٤أسبوع	٩١,٧	٠,٩٣
كرنب بروكس	صفر	٩٠-٩٥	٣-٤أسبوع	٨٤,٩	٠,٨٧
البروكلى	صفر	٩٠-٩٥	٧-١٠يوم	٨٩,٩	٠,٩٢
الخرشوف	صفر	٩٠-٩٥	١-٢أسبوع	٨٣,٧	٠,٨٧
الخس	صفر	٩٥	٢-٣أسبوع	٩٤,٧	٠,٩٦
البقدونس	صفر	٩٠-٩٥	١-٢شهر	٨٥,١	٠,٨٨
الكرفس	صفر	٩٠-٩٥	٢-٤شهر	٩٣,٧	٠,٩٥
السبانخ	صفر	٩٠-٩٥	١٠-١٤يوم	٩٢,٧	٠,٩٤
الشليك	صفر	٩٠-٩٥	٥-٧يوم	٨٩,٩	٠,٩٢
الطماطم الخضراء	١٤-١٦	٨٥-٩٠	٢-٣أسبوع	٩٤,٧	٠,٩٥
الطماطم ناضجه	٧-١٠	٨٥-٩٠	٢-٧يوم	٩٤,٧	٠,٩٥
الباذنجان	٧-١٠	٩٠	٧ يوم	٩٢,٧	٠,٩٤
الفلفل	٧-١٠	٩٠-٩٥	٢-٣أسبوع	٩٢,٤	٠,٩٤
الخيار	٧-١٠	٩٠-٩٥	١٠-١٤يوم	٩٦,١	٠,٩٧
قرع الكوسه	٧-١٣	٨٠-٨٥	١٥-٢١يوم	٩٥,٠	٠,٩٦
القرع العسلى	١٠-١٣	٧٠-٧٥	٢-٦شهر	٩٠,٥	٠,٩٢
الكانتلوب	صفر-٥	٨٥-٩٠	٥-١٥يوم	٩٢,٠	٠,٩٣
الشمام	٧-١٠	٨٥-٩٠	٢ أسبوع	٩٢,٧	٠,٩٤
كيزان العسل	٧-١٠	٨٥-٩٠	٣-٤أسبوع	٩٢,٦	٠,٩٤
البطيخ	٥-١٠	٨٠-٨٥	٢-٣أسبوع	٩٢,١	٠,٩٧

تابع ماقبله

المحصول	درجة الحرارة المثلى (م°)	الرطوبه النسبيه بالمخزن (٪)	طول مدة التخزين بالتقريب	المحتوى الرطوبى (٪)	الحراره النوعيه (ك.جول/كجم م°)
لبسله	صفر	٩٠-٩٥	١-٢أسبوع	٧٤.٣	٠.٧٩
الفاصوليا	٧-١٠	٩٠-٩٥	٨-١٠يوم	٨٨.٩	٠.٩١
الفول الرومى	صفر-٥	٩٠	١٠-١٥يوم	٦٦.٥	٠.٧٣
لباميه	٧-١٠	٩٠-٩٥	٧-١٠يوم	٨٩.٨	٠.٩٢
البطاطا	١٣-١٦	٨٥-٩٠	٤-٦شهر	٦٨.٥	٠.٧٥
البرتقال	صفر-١	٨٥-٩٠	٨-١٢أسبوع	٨٧.٢	٠.٩٠
للبمون الاصالبا	٩-١٥	٨٥-٩٠	١-٤شهر	٨٩.٣	٠.٩٢
المالطيلدى	٩-١٠	٨٥-٩٠	٦-٨أسبوع	٨٦.	٠.٨٩
الجريب فروت	١٠	٨٥-٩٠	٤-٨اسبوع	٨٨.٨	٠.٩١
اليوسفي	صفر-٤	٨٥-٩٠	٣-٤أسبوع	٨٧.٣	٠.٩٠
المانجو	١٣	٨٥-٩٥	٢-٣اسبوع	٨١.٤	٠.٨٥
الموز	صفر	٨٥-٩٥	-	٧٤.٨	٠.٨٠
الزيتون	٧-١٣	٨٥-٩٥	٤-٦أسبوع	٧٥.٢	٠.٨٠
الزبديه	٧-١٣	٨٥-٩٥	٤ أسبوع	٦٥.٤	٠.٧٢
البالطا	٧	٨٥-٩٥	٢-٣أسبوع	٩٠.٨	٠.٨٢
لكمثرى	٢- -صفر	٩٠-٩٥	٢-٧شهر *	٨٢.٧	٠.٨٦
التفاح	١-صفر	٩٠	٢-٨شهر *	٨٤.١	٠.٨٧
السفرجل	صفر	٩٠	٢-٣شهر	٨٥.٣	٠.٨٨
الكريز	صفر	٩٠	١٠-١٤يوم	٨٣.٠	٠.٨٧
المشمش	صفر	٩٠	١-٢أسبوع	٨٥.٤	٠.٨٨
الخوخ	صفر	٩٠	٢-٤أسبوع	٨٦.٩	٠.٩٠
البرقوق	صفر	٩٠-٩٥	٣-٤أسبوع	٨٥.٧	٠.٨٨
التين	صفر	٨٥-٩٠	٧-١٠يوم	٨٧.٠	٠.٨٢
العنب	١-صفر	٩٠-٩٥	١ر٥-٦شهر *	٨١.٦	٠.٨٦
الرمان	١-٢	٩٠	٢-٤شهر	-	-
لكاكى	١-	٩٠	٣-٤شهر	٧٨.٢	٠.٨٤
لنقل	صفر-١٠	٦٥-٧٥	٨-١٢شهر	٦-٣	٠.٢٢-٠.٢٥
التمار المجففه	صفر	٥٠-٦٠	٩-١٢شهر	٢٦-١٤	٠.٣١-٠.٤١

* 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 الثلاجات او غرف التبريد لحفظ مادة معينه عند درجة حرارة مناسبة طوال فترة التخزين. وتعتمد حمولة التبريد على عدة عوامل اهمها مايأتى :

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 الثلاجات .

وتحدد سعة وحدة التبريد باحدى الطرق الآتيه :

١- كمية الحرارة التى تمتصها الآله فى الساعه اما بالوحدات البريطانيه او الوحدات المتريه او الوحدات المختلطه أو الوحدات الدوليه.

٢- التبريد الكمى بالرطل او الكيلوجرام فى الساعه علما بان رطل التبريد يلزمه ١٤٤وحدة حراريه بريطانيه BTU أو الكيلوجرام تبريد يلزمه ٧٩ر٩ كيلوكالورى .k.Cal.
وهى كمية الحرارة اللازمه لانصهار وحدة وزنيه واحده من الثلج .

٣- كمية التبريد بالطن تبريد فى اليوم

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

$$\frac{\text{BTU}}{\text{Lb}}\ ١٤٤ \times \text{Lb}\ ٢٠٠٠ =$$

$$\text{BTU}\ ٢٨٨٠٠٠ =$$

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

$$= 1000\ kg \times 79.9\ \frac{kcal}{kg}$$

$$= 79900\ kcal$$

$$\sim 80000\ kcal$$

والحراره التى يجب ازالتها بالتبريد هى عبارة عن مجموع الاحمال الآتيه:

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 الابتدائيه للثمار .
٢- درجة الحرارة النهائيه للثمار او درجة الحراره المراد تخزين الثمار عندها .
٣- وزن الثمار وادوات التعبئه والتغليف .
٤- الحراره النوعيه للثمار وادوات التعبئة والتغليف ويمكن تقديرهـــا اذا علم (M_C)المحتوى الرطوبى للثمار حسب المعادله التقريبيه الآتيه :

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

ويرمز المقدار الثابت ٢ر. الى الحرارة النوعيه الجافه تماما فى الثمار المراد تخزينها .

٢- الحرارة الحيوية: Vital Heat

تؤدى الثمار المختلفه كأى 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 توليـــد

طاقة حرارية ناتجة عن عملية التنفس وتسمى هذه الطاقة بالحرارة الحيوية . وهى تمثل جزء مهم فى حمولة التبريد اللازمة لغرف التخزين . ويمكن قياس الحرارة الحيويه باستخدام اجهزة خاصه 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 الحيويه وهذا الخطأ ناتج عن افتراض ان جميع الحرارة المتولدة اثناء التنفس تكون ناتجة عن احتراق سكر الجلوكوز

وتعتمد كمية الحرارة الحيويه على مايأتى :

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 واحدة .

ثانيا : <u>الحرارة النافذه</u> : Heat Leakage

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

١- <u>الحرارة التى تنفذ الى داخل غرف التبريد خلال الاسقف والجدران والارضيه</u> :

وتكون ذات اهمية كبيرة فى الظروف الآتيه :

أ- ارتفاع درجة حرارة الجو الخارجى لغرف التبريد .

ب- انخفاض درجة حرارة هواء غرفة التبريد (كما هى الحاله فى غرف التجميد)

ج- استعمال غرف التبريد المتنقله (عربات النقل وعربات السكك الحديديه) ، فيؤدى سرعة الهواء خارج الغرف الى ارتفاع كمية الحرارة النافذه من جانب واسقف غرف التبريد.

وتعتمد كمية الحراره النافذة داخل غرف التبريد على العوامل الآتيه :

أ- الفرق بين درجة حرارة الجو الخارجى للغرفه ودرجة حرارة هواء غرفة التبريد ، فكلما زاد هذا الفرق كلما زادت كمية الحرارة المتسربه .

ب- مساحة الاسطح الخارجيه لغرف التبريد.

ج- مدة التخزين .

د- نوع المادة المستخدمه فى عزل غرفة التبريد (مقاومتها لانتقال الحراره).

هـ- معدل انتقال الحراره من الهواء الخارجى للغرفه الى داخل الغرفه وهذا المعدل يعتمد على سرعة الهواء الملامس لجدران الغرفه 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 الخدمه : Service Heat

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

ويمكن تقدير كمية حرارة الخدمه بماقيمته ١٠ الى ١٥٪ وقد تصل الى ٢٠٪ من مجموع الحرارة النافذة خلال جدران الغرفه وحرارة تنفس المواد المخزونه .

٣- احتياطى طوارىء : 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 منتظره فى حرارة الحقل نتيجة جمع الثمار فى فترة الظهيره .

مثال (١)

المطلوب تقدير سعة وحدة التبريد المناسبة لغرفة أبعادها الداخليه ٢ × ٣ × ٣ متر وحوائطها وسقفها من الخشب بسمك ٧ر٥سم ومغطاه بألواح من الفلين من الداخل بسمك ١٠ سم والغرفه معده لحفظ ٢ طن ثمار البرتقال عند درجة حرارة ٥°م بينما درجة حرارة الجو الخارجي للغرفه ٣٠°م وبحيث يسحب طن واحد من البرتقال كل يوم ويستبدل بنفس الكميه وبحيث يتم التبريد خلال ٦ ساعات علما بأن :

معامل إنتقال الحرارة بالتوصيل للخشب = ٢٥ر٠ كيلوكالورى/ساعه.متر.°م

معامل إنتقال الحرارة بالتوصيل للفلين = ١٠ر٠ كيلوكالورى/ساعه.متر.°م

معامل إنتقال الحرارة بالحمل للهواء الخارجي = ٥ر٢ كيلوكالورى/ساعه.متر٢.°م

معامل إنتقال الحرارة بالحمل للهواء الداخلى = ٥ر١ كيلوكالورى/ساعه.متر٢.°م

الحراره النوعيه للبرتقال = ٩ر٠ كيلوكالورى/كجم.°م

حرارة تنفس ثمار البرتقال = ٤٠٠ كيلوكالورى/طن.يوم

مع اعتبار اضافة ٢٠٪ من كميات الحرارة نتيجة لفتح أبواب الغرفه والتهويه واحتياطى وحدة التبريد .

الحـــل

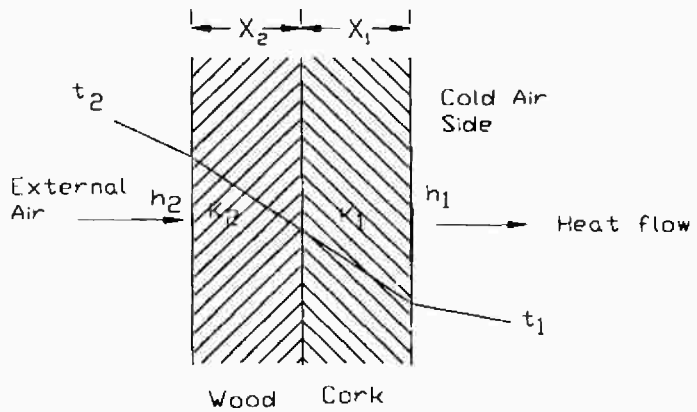
$$\text{Field heat} = \frac{\text{Mass of Oranges x specific heat x temp. difference}}{\text{Cooling hours}}$$

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

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

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 x 3 x 4 = 24 m^2

Ceiling and floor areas of room = 3 x 3 x2 = 18 m^2

Total surface area = 24 + 18 = 42 m^2

يمكن حساب الحرارة النافذة كالآتى :

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

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

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

Total heat to be absorbed per hour during cold storage

= Field heat + Heat of respiration + Heat leakage

= 3750 + 16.7 + 443

= 4209.7 kcal/hr

∴ Refrigeration Capacity

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

Correction should be made for reserves

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

أى يلزم اقامة وحدة تبريد مقدار حمولتها حوالى ٥ر١ 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 الحراره تكون ذات أهمية كبيرة إذا كانت كمية الثمار المخزنه كبيرة خاصة إذا ما إرتفعت درجات حرارة التخزين عن ١٠°م كما هي الحاله 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 وطلمبة لدفع المحلول الملحى خلال مواسير غرفة التبريد .

أذا كانت أبعاد غرفة التبريد ٦ × ٥ × ٣ متر حوائطها مبنيه من الطوب الحرارى بسمك ٢٥سم ومغطاه من الخارج بطبقة من المونه بسمك ٥ر٢سم ، ومن الداخل بألواح الفلين بسمك ٥ر٧سم . والغرفه معدة لحفظ ٢ طن من ثمار الفراوله عند درجة حرارة ١٠°م بينما درجة حرارة الجو الخارجى للغرفه ٣٥°م وتستغرق عملية خفض درجة حرارة الفراوله خمسة ساعات .

اذا كانت طول المواسير الحامله للمحلول الملحى ٣٠ متر وقطر الماسورة ٥ر٧سم ومعزوله بطبقة من الصوف الزجاجى مقدارها ٥ر٧سم كذلك كانت درجة حرارة المحلول الملحى داخل مواسير التوصيل صفر°م ودرجة حرارة الجو الخارجى ٣٥°م .

احسب سعة وحدة التبريد بالطن تبريد فى اليوم علما بأن :

معامل إنتقال الحرارة بالتوصيل للطوب الحرارى = ١٨ر٠ كيلوكالورى/ساعه.متر.°م

معامل إنتقال الحرارة بالتوصيل للمونه الاسمنتيه= ٥٥ر٠ كيلوكالورى/ساعه.متر.°م

معامل إنتقال الحرارة بالتوصيل لألواح الفلين = ٠١ر٠ كيلوكالورى/ساعه.متر .°م

سمك معدن المواسير الحامله للمحلول الملحى = ٥٠ر٠ سم

معامل إنتقال الحرارة بالتوصيل لمعدن المواسير = ٥ر١٢ كيلوكالورى/ساعه.متر.°م

معامل إنتقال الحرارة بالتوصيل للصوف الزجاجى = ٠١ر٠ كيلوكالورى/ساعه.متر.°م

معامل إنتقال الحرارة بالحمل للهواء الخارجى = ٥ر٢كيلوكالورى/ساعه.متر^{٢}.°م

معامل إنتقال الحرارة بالحمل لهواء غرفة التبريد = ٥ر١ كيلوكالورى/ساعه.متر^{٢}.°م

معامل إنتقال الحرارة بالحمل للمحلول الملحى =٢٥ر٥كيلوكالورى/ساعه.متر^{٢}.°م

الحراره النوعيه للفراوله = ٩ر٠ 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 .

الحـــل

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

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

كمية الحرارة النافذه (Q):

١- من أسطح وجوانب وأرضية غرفة التبريد

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

Area of walls of refrigeration room = $5 \times 3 \times 2 + 6 \times 3 \times 2$

$= 30 + 36 = 66\ m^2$

Area of ceiling and floor of refrigeration room = $5 \times 6 \times 2$

$= 60\ m^2$

Total surface area = 66 + 60 = 126 m

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

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

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

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

٢- من مواسير توصيل المحلول الملحى إلى غرفة التبريد
وتستخدم المعادله الخاصه بالانتقال القطرى للحرارة من المواسير

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

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

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

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

حيث ان :

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

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

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

$$= 11.75 \quad \text{cm}$$

Total heat to be absorbed per hour
= Field heat + Heat of respiration + Heat leakage
= 9000 + 208.33 + (967.7 + 41.88)
= 10217.91 kcal/hr

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

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

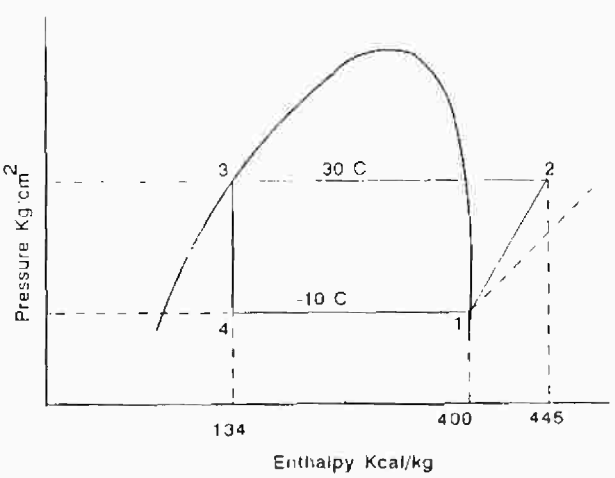
مثال (٣)

ثلاجة تبريد للمواد الغذائيه تتحمل حمل تبريد قدره ١٢ طن تبريد ودرجة حرارة المكثف والمبخر كانت ٣٠°م ، -١٠°م على الترتيب . فإذا كان الضاغط المستخدم ذو اسطوانتين فردى التأثير ويدور بسرعه ٩٠٠ لفه/دقيقه وكان ارتفاع درجة حرارة مياه التبريد فى المكثف ٥°م . 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 = ١ر٢
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 الأنتروبيا الثابت عند هذه النقطة (1) حتى يصل إلى الحالة (2) عند درجة حرارة المكثف . ويتكثف مائع التبريد حتى يصل إلى الحالة (3) ويكون السائل مشبعا يتم خفض ضغطه حتى يصل الى الحاله (4) عند ضغط المبخر كما هو مبين فى الشكل :



أ- سعة التبريد :

Cooling or Refrigeration Capacity

$$Q_c = h_1 - h_4$$
$$= 400 - 134$$
$$Q_c = 266 \text{ kcal/kg.}$$

ب- كمية الحرارة المفقوده في المكثف :

Heat Absorbed in Condenser

$$Q_a = h_2 - h_3$$
$$= 445 - 134$$
$$Q_a = 311 \text{ kcal/kg.}$$

ج- معامل أداء الثلاجه :

Coefficient of Performance

$$\text{C.O.P.} = \frac{\text{Refrig. Capacity}}{\text{Work done in Compn.}}$$

$$= \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

$$= \frac{400 - 134}{445 - 400}$$

$$= \frac{266}{45}$$

$$\text{C.O.P.} = 5.91$$

د- معدل سريان مائع التبريد :

Refrigeration load = Rate of flow refrigerant x Refrigeration Capacity

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

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

$$= 150.38 \quad \text{kg./hr.}$$

$$= 2.51 \quad \text{kg./min.}$$

هـ- القدرة النظريه اللازمه للضاغط :

Theoretical HP. for the Compressor

$$= \frac{\text{Ref. Rate x Work done (ht. units)}}{\text{Standard HP.}}$$

$$= \frac{(2.51)\ (445 - 400)\ (427)}{75 \times 60}$$

$$= 10.71 \text{ HP.}$$

و- لايجاد قطر وطول مشوار مكبس الضاغط :

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

$$\therefore \quad \text{Refrigerant Rate (by weight)}$$

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

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

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

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

$$\therefore \ D^3 = \frac{(0.000593)\ (100^3)\ (4)}{(1.2)\ (\pi)}$$

$$= 629.51$$

$\therefore$ D = 8.57 cms.

& L = (1.2 x 8.57)

L = 10.28 cms.

ز- **لايجاد معدل سريان مياه التبريد فى المكثف :**

يتم اجراء موازنه حراريه على المكثف كما يلي :

Heat absorbed by cooling water

= Heat lost from refrigerant

$\therefore$ (Refrigerent Rate) $(h_2 - h_3)$

= Cooling water rate x C_p. ht. x Δt

$\therefore$ (2.51) (445 - 134) = (Cooling water rate) (1) (5)

$\therefore$ Cooling water rate $= \frac{(2.51)\ (311)}{(5)}$

= 156.12 kg./min.

مثال (٤):

إعادة حل المسأله المنصوص عليها فى مثال (٣) مع استخدام مائع التبريد ركلين ١٣٤(أ) – Reclin 134a بدلا من غاز النوشادر .

الحل

إشارة إلى كروكى مثال (٣) وباستخدام الخريطه الخاصه بركلين ١٣٤-أ نحصل على البيانات الآتيه بالنسبه لانثالبيا المائع :

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

أ- سعة التبريد :

$$Q_c = h_1 - h_4$$
$$= 93.36 - 57.78$$
$$\therefore \quad Q_c = 35.58 \quad kcal/kg$$

ب- كمية الحرارة المفقوده فى المكثف :

$$Q_a = h_2 - h_3$$
$$= 100 - 57.78$$
$$\therefore \quad Q_a = 42.22 \quad kcal/kg$$

ج- معامل أداء الثلاجه :

$$C.O.P. = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$
$$= \frac{93.36 - 57.78}{100 - 93.36}$$
$$\therefore \quad C.O.P. = \frac{35.58}{6.64} = 5.36$$

د- معدل سريان مائع التبريد

$$\text{Refrigerant Rate} = \frac{(12)\ (80,000)}{(24)\ (35.58)}$$
$$= 1124.23 \quad kg/hr$$
$$= 18.74 \quad kg/min.$$

هـ- القدرة النظريه اللازمه للضاغط

$$\text{Theoretical H.P} = \frac{\text{Ref. Rate x Work Done (ht. Units)}}{\text{Standard HP.}}$$
$$= \frac{(18.74)(h_2 - h_1)(427)}{(75)(60)}$$
$$= \frac{(18.74)(100 - 93.36)(427)}{(75)(60)}$$
$$= 11.81 \ HP$$

و- لايجاد قطر وطول مشوار مكبس الضاغط

من خريطة مائع التبريد نجد أن الحجم النوعى للغاز عند ضغطه (١) تكون مساويه ٠,١٠ ديسمتر مكعب/كجم أى ١٠ متر مكعب/كجم.

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

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

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

$$\therefore D^3 = 1104.03$$

$$D = 10.31 \ cm$$

$$L = 12.37 \ cm$$

ز- معدل سريان مياه التبريد فى المكثف

بعمل الموازنه الحراريه على المكثف

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

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

$$= 133.35 \ kg/min.$$

<u>التحكم فى درجات الحرارة والرطوبه داخل غرف التخزين بالتبريد:</u>

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 بالتبخر . 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 المخازن جهاز لقياس نسبة الرطوبه وتسجيلها اوتوماتيكيا ويسمى ثرموهيجروجراف Thermohygrograph. وتتناسب نسبة الرطوبه تناسبا عكسيا مع سرعة تبخر الماء من المحصول فكلما زادت نسبة الرطوبه كلما قل تبخر الماء والعكس صحيح . وبذلك يكون النقص فى الوزن والحجم اكثر فى المحاصيل المخزنه فى هواء نسبة الرطوبه به ٨٠٪ عنه فى هواء نسبة رطوبته ٩٠٪ ، وذلك لأن الفرق بين تركيز الماء فى المحصول المراد تخزينه وبين تركيز الماء فى هواء الغرفه يتسبب عنه انتشار الماء علي هيئة بخار Water Vapor Diffusion من داخل انسجة المحصول الى سطحه الخارجي ومنه الى هواء غرفة التبريد حتى يحدث تعادل بين تركيز بخار الماء فى هواء الغرفه والمحصول المراد تخزينه .

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

التجميد Freezing

وهو أحد العمليات التكنولوچيه التى تتم نتيجة لخفض درجات الحراره لمادة ما عن درجة حرارة تجمد هذه الماده . حيث أنه من المعلوم أن تخفيض درجة الحرارة يؤدى إلى تثبيط نشاط الكائنات الحيه الدقيقه فى المواد الغذائيه وتأخير التفاعلات الكميائيه والأنزيميه وبالتالى منع تدهور المنتجات الغذائيه وفسادها، مع إمكان حفظ المواد الغذائيه لفترات طويله تحت ظروف مجمدة بدون تغير فى خواصها الطبيعيه والكيمائيه.

عند تصميم نظام تجميد لمنتج غذائى فإنه يلزم تقدير أو حساب إحتياجات التبريد أو التغير فى الانثالبيا Enthalpy التى تحدث أثناء عملية التجميد. وكذلك أنه من الأهميه بمكان معرفة المعدل والزمن الذى يتم فيه تجميد مادة ما. وهو مرتبط بخواص المنتج وجودته حيث أن بمعدل التجميد سيتحدد معدل الإنتاج نتيجة له وبالتالى فإنه يتطلب التوازن بين التجميد السريع المرغوب ودرجة جودة المنتج.

وعامة فإن معظم الأغذيه سواء نباتيه أو حيوانيه تحتوى على نسبة عاليه من الرطوبه المذاب فيها كثير من المواد العضويه والغير عضوية. وتوجد هذه الرطوبه على شكل ماء حر Free Water له نفس الخواص الطبيعيه والكميائيه للخلايا والأنسجه فى المواد الغذائيه.

مما سبق فإنه يتضح أن الاعتبارات الهندسيه لاجراء عمليات التجميد تحتاج إلى تطبيق مبادىء الديناميكا الحراريه فى معاملات تجميد الأغذيه عن طريق خفض درجة حرارتها . وتورد فيما يلى تلخيص لذلك لأمكان اجراء الحسابات الخاصه بتجميد الأغذيه.

تطبيقات الديناميكا الحراريه :

يعتبر المحتوى الحرارى أو الانثالبيا Enthalpy عاملا هاما فى حسابات المعاملات الحراريه ويمثل ما يسمى بدالة الحالة State Function ويعبر عنها بالمعادلة الآتيه :-

$$H = U + PV \qquad (12\text{-}1)$$

حيث U تمثل الطاقه الداخليه للنظام ، P تمثل الضغط المطلق ، V تمثل حجم النظام .

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

$$\Delta H = Cp\ \Delta T \qquad (12\text{-}2)$$

وعند اضافة أو امتصاص طاقة حراريه لمادة ما فإن الانتقال الحرارى من أو إلى المادة يتسبب عنه قصور فى الطاقه وهو مايعبر عنه بالأنتروبيا Entropy.

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

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

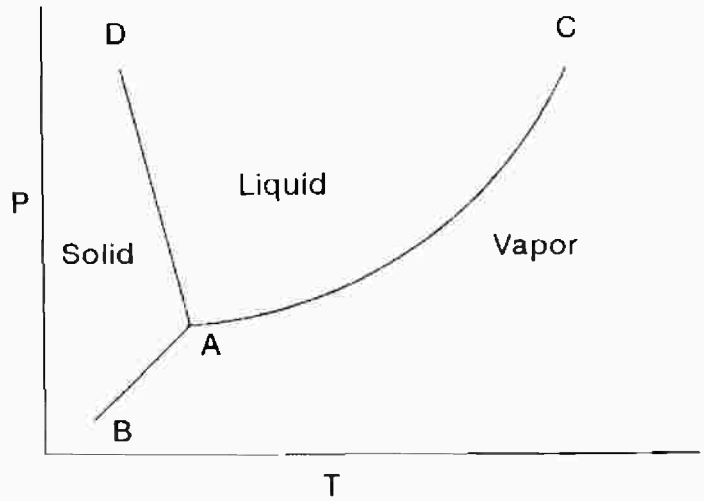
وعند ابقاء نظام ما على درجة حرارة ثابته وضغط ثابت كما هو الحال فى كثير من المنتجات الغذائيه المخزونه نتحصل على حالة من التوازن Equilibrium ينتج عنها مايسمى بالطاقه الحره Free Energy وتعرف بالمعادله الآتيه :-

$$G = H - TS \qquad (12\text{-}4)$$

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

$$\Delta G = \Delta H - T\ \Delta S \qquad (12\text{-}5)$$

وفى كثير من عمليات تصنيع الأغذيه 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 ثابته وضغط ثابت . ويكون نتيجة لذلك تغير فى النظام من حالة طاقه حرة مرتفعه إلى حالة طاقه حرة منخفضه وهو مايعرف بالكمون الديناميكى الحرارى Thermodynamic Potential ولدراسة ذلك نأخذ فى الاعتبار مادة نقية 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 النقطه الثلاثيه Triple point حيث يتواجد عندها السائل والصلب والبخار فى آن واحد عند نفس درجة الحرارة والضغط .

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

Clausius- Clapeyron Equation:

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

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

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

حيث:

R = الثابت العام للغازات

λ = الحرارة الكامنه للتبخير (تغير الطور Phase Change)

T = درجة الحراره المطلقه

P = ضغط بخار الماء الناتج

ΔV = التغير فى حجم البخار

إنخفاض نقطة التجمد Freezing Point Depression

فى الجزء السابق تكلمنا عن حالة الإتزان بين السائل وبخار السائل عند التبخير واعتبرنا أن بخار السائل يسلك سلوكا مثاليا مكننا من تطبيق قوانين الغاز المثالى والتى بنيت على إختفاء تام لقوى الجذب بين مكوناته . وكذلك الحال بالنسبه للسائل المثالى والذى يتميز بإنتظام تام لقوى الجذب بين جزيئاته . والقانون الأساسى الذى يصف سلوك أى سائل مثالى هو قانون راؤولت Raoult's Law والذى يعبر عنه :

$$P_A = X_A P_A^o \qquad (12\text{-}8)$$

حيث:

P_A = الضغط البخارى الجزئى للمكون A

P_A^o = الضغط البخارى للسائل النقى A عند نفس درجة الحرارة

X_A = الكسر الجزيئى للمكون A فى المحلول.

= mol Fraction of Component A in Solution

وعند التعامل فى معاملات تجميد محاليل غذائيه فإنه يتلاحظ إنخفاض نقطة تجميد الماء التى توجد به مذابات مختلفه إلى مستوى أقل من نقطة تجمد الماء النقى. ونجد أن مقدار هذا الأنخفاض فى نقطة التجمد يكون دالة مباشرة للوزن الجزيئى وتركيز المذاب فى المنتج الغذائى وفى المحلول مع الماء .

ويمكن كتابة معادلة كلوسيوس وكلابيرون بالنسبه للمكون A فى المحلول بإعتباره سائل مثالى ، كما يأتى (على نفس نمط الغاز المثالى):-

$$\frac{d(\ln X_A)}{dT_A} = \frac{\lambda'}{R T_A^2} \qquad (12\text{-}9)$$

حيث :

λ = الحرارة الكامنه للإنصهار (ك.جول/مول)

X_A = الكسر الجزيئى للماء فى المحلول

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

$$\Delta T = \frac{R T_{Ao}^2 W_A m}{1000 L} \qquad (12\text{-}10)$$

حيث:

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

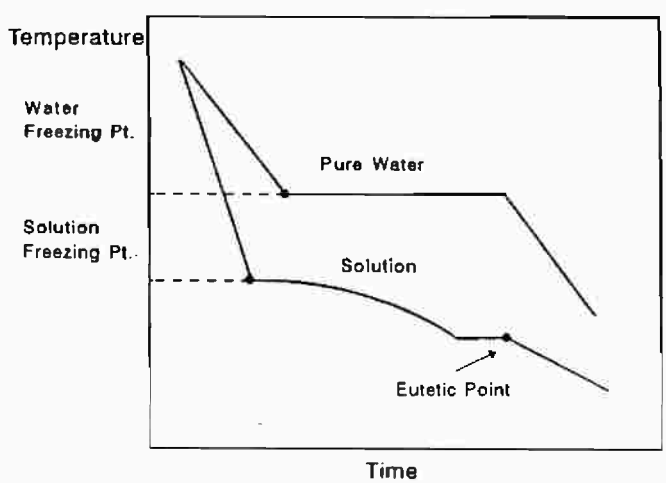
W_A = الوزن الجزيئى للمكون A

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 في حالة الماء النقى كلما أزلنا كمية من الحرارة تنخفض درجة حرارة الماء حتى الوصول إلى نقطة التجمد واذا 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 الحراره 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 والتى نلاحظ أنها أقل من درجة الحرارة الابتدائيه للماء النقى ويمكن حساب هذا الانخفاض باستخدام المعادلة (١٢-٦) (معادلة كلوسيوس وكلابيرون). 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 يؤدى 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 وبالتالى يمكن الوصول إلى أكثر من نقطة تصلب أثناء عملية التجميد .

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

$$\Delta H = \Delta H_s + \Delta H_U + \Delta H_L + \Delta H_I \qquad (12\text{-}11)$$

حيث:

ΔH = التغير الكلى فى الانثالبى

ΔH_S = كمية الحرارة المزاله من المواد الصلبه

ΔH_U = كميةالحراره المزالة من الماء الغير مجمد

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

ΔH_I = كمية الحرارة المزاله من الماء المجمد أو الثلج

وأى من كميات الحراره يمكن حسابها كما يأتى :

$$\Delta H = M.Cp.(T_I - T_F) + M.Cp.(T_F - T) \qquad (12\text{-}12)$$

حيث :

M = كتلة أو وزن المكون

Cp = الحراره النوعيه لهذا المكون

T_I = درجة الحراره الابتدائيه (قبل التجميد)

T_F = درجة حرارة التجميد

T' = درجة حرارة التخزين (بعد التجميد)

أما التغير فى الانثالبى نتيجة للحرارة الكامنه فيمكن حسابه من :

$$\Delta H_L = M.L \qquad (12\text{-}13)$$

حيث :

M = كتلة الماء المجمد

L = الحرارة الكامنه للتجمد

وعامة فإن كل من الكتلة والحرارة النوعيه للمكون بعد الوصول إلى نقطة التجمد تعتمد اعتماداً وثيقا مع درجة الحراره ، وبالتالى فإن حسابها يكون مقربا إذا أعتبرت أنها ثابته أو يمكن الحصول عليها من منحنيات خاصه بالمواد الغذائيه سواء الصلبه أو ذات الألياف من أصل نباتى أو حيوانى أو محاليل غذائيه (عصائر - ألبان) أو مخاليط نصف صلبه (أيس كريم والجرانيطه) حيث أن كل من الكثافه والحراره النوعيه تتغير تغيراً محسوسا بتغير درجة حرارة الماده .

حساب معدلات تجميد المنتجات الغذائيه Food Product's Freezing Rates

إن من أهم اقتصاديات عمليات تجميد الأغذيه هى معرفة معدل تجميد الغذاء وهو الذى سوف يتحدد به الزمن اللازم لاحداث 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 الأربعه الآتيه :

١- طريقة الزمن ودرجة الحراره

٢- سرعة واجهة الثلج Ice Front

٣- مظهر المنتج

٤- الطرق الحراريه Thermal Processes

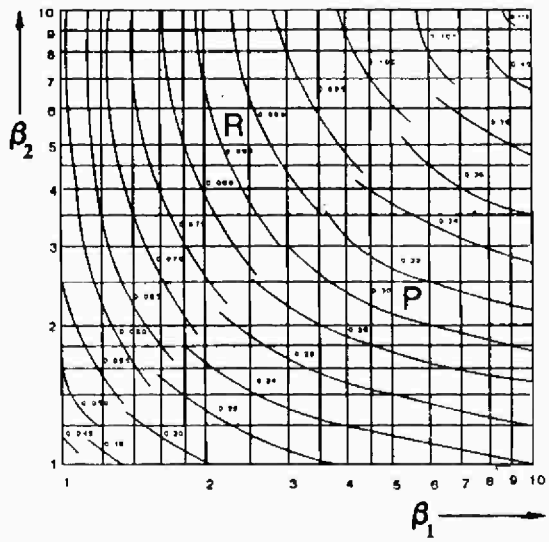
وأكثرها ملائمه فى تصميم وتشغيل نُظم التجميد هو الزمن اللازم للوصول إلى درجة حرارة تجميد معينه عند أبطأ نقطه فى المنتج الغذائى. وأكثر العلاقات الرياضيه المباشرة تم إشتقاقها بواسطة العالم بلانك Plank لحساب زمن التجميد لعديد من أشكال المنتج الهندسيه والتى تتمثل فى شكل لوح رقيق Slab أو اسطوانه Cylinder أو كرة Sphere وكانت الصيغه الرياضيه العامه كما يأتى :

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

حيث:

θ	=	الزمن اللازم للتجميد	hr
ρ	=	كثافة المادة الغذائيه المراد تجميدها	kg/m^3
L	=	الحرارة الكامنه للتجميد	kJ/kg
T_F	=	درجة حرارة التجميد	K
T_∞	=	درجة حرارة الجو المحيط بالمادة الغذائيه	K
h	=	معامل انتقال الحراره بالحمل للجو المحيط	W/m^2 K
k	=	معامل انتقال الحرارة بالتوصيل للمادة المجمده	W/m. K
a	=	سمك اللوح أو قطر الاسطوانه أو الكره	
P	=	ثابت	
	=	$\frac{1}{2}$ للوح اللانهائى = $\frac{1}{4}$ للاسطوانه اللانهائيه = $\frac{1}{6}$ للكره	
R	=	ثابت آخر	
	=	$\frac{1}{8}$ للوح اللانهائى = $\frac{1}{16}$ للاسطوانه اللانهائيه = $\frac{1}{24}$ للكره	

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



شكل (١٢-٨) خريطة ثوابت معادلة بلانك للتجميد

وهناك أكثر من طريقة لحساب زمن التجميد ولكن أبسطها هى العلاقه التى توصل إليها بلانك ولو أن هناك أكثر من تعديل لها للأخذ في الاعتبار المتغيرات الحقيقيه فى الطبيعه والتى لاتؤثر كثيرا في التقدير. وعلى ذلك فإنه يمكن الاعتماد على حساب زمن التجميد بطريقه بلانك والذى يقل على أكثر تقدير بنسبة تتراوح بين ١٠ - ١٥٪ عن النتائج المعمليه 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 فى الاعتبار كل من درجة الحراره الابتدائية والنهائيه في حين معادلة بلانك تعتمد على درجة حرارة التجمد ودرجة الحرارة المحيطة .

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

$$\Delta H = c_{p\,b}\,(T_i - T_F) + L + c_{p\,a}(T_F - T_s) \qquad (12\text{-}16)$$

حيث :

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

أنواع المجمدات Types of Freezers

هناك أكثر من تصميم لأجهزة تجميد وحفظ الأغذيه 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 وماإلى 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.

وعموما يمكن تصنيف المجمدات إلى ثلاثة نظم رئيسيه :

مجمدات دفع الهواء : Air Blast Freezers

ونظام التجميد فيها يعتمد على دفع هواء بارد بسرعة عاليه جدا على المنتج المراد تجميده والذى يمكن أن يكون ساكناأو متحركا داخل غرف التجميد حيث يتلامس هذا الهواء الفائق التبريد مع المنتجات ذات الكثافه العاليه والمغلفه فى عبوات كبيره توضع فى صوانى 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 .

مجمدات الألواح Plate Freezers

حيث يتم احداث التجميد عن طريق التلامس المباشر للمنتجات المراد تجميدها سواء مغلفه أو غير مغلفه . وعادة يتم حفظ الالواح على درجة الحراره المرغوبه عن طريق تصميم مبخر نظام التبريد Evaporator ملامس مباشرة لمائع التبريد المستخدم. وعادة ماتصمم الالواح بحيث يمكنها الانضغاط إلى أسفل أو إلى أعلى على المنتج المراد تجميده لأحداث التجميد السريع المطلوب من تلامس مباشر مع جانبى الألواح وبذلك يتم زيادة معامل إنتقال الحراره السطحى بأكبر قدر ممكن .

ويتلاحظ هنا أن حركة الهواء داخل مجمدات الألواح غير مطلوبه حيث الاعتماد على امتصاص الحراره نتيجة للتلامس المباشر مع الألواح وبالتالى فإن مساحة الأرضيات تكون أقل من تلك الخاصه بمجمدات دفع الهواء وكذلك لاتحتاج إلى قدرات عاليه عند التشغيل . وتستخدم مجمدات الألواح بشكل كبير في تجميد منتجات الآيس

مجمدات الغمر Immersion Freezers

هذا النوع من المجمدات يستخدم التجميد الفائق Cryogenic Freezing حيث يتم وضع المنتج المراد تجميده فى حالة تلامس مباشر مع مائع التبريد عند درجة حرارة منخفضه .

وعادة فإن سائل النيتروچين هو أكثر سوائل التبريد انتشارا فى نظم التجميد بالغمر نظراً لأن نقطه الغليان لسائل النيتروچين تصل إلى - ١٩٦°م وبذلك معدلات التجميد عاليه جداً خاصة إذا ماكان سريان سائل النيتروچين فى اتجاه معاكس لتحويل المنتج المراد تجميده .

ويلى ذلك سائل تبريد آخر وهو ثانى أكسيد الكربون السائل حيث أن له نقطة غليان تساوى - ٩٨°م ويتم استخدامه بشكل مماثل لسائل النيتروچين وذلك بتزريره 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 محلولا مخففا ، فإنه بالامكان استخدام المعادله الاتيه .

$$\Delta T_F = \frac{R\, T_{Ao}^2\, W_A . m}{1000\, L}$$

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_{Ao}	=	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 الاتيه :

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

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

وبالتعويض في معادلة انخفاض نقطة تجمد المحلول نتيجة لاضافة كلوريد الصوديوم

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

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

$$= 3.15 \text{ K}$$

ويمكن اجراء الحسابات بالوحدات المتريه كما يأتى :

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

$$= \frac{(1.99)(273)^2(1.695)}{(1000)(79.9)}$$

$$= 3.15 \text{ K}$$

$$\therefore T_F = -3.15 \ ^{o}C$$

مثال (٢) :

إحسب درجة الحرارة التى يبدأ عندها تكوين الثلج فى محلول أيس كريم مكوناته ١٠٪ دهن زبد ، ١٢٪ مواد صلبه 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 ٥ر٥٤٪ من المواد الصلبه الغير دهنيه فى المخلوط .

الحل

يتم حساب المولاليه كما يأتى:

Fraction Solute = كسر المذاب

$$= 0.15 + (0.545)(0.12)$$

$$= 0.15 + 0.0654$$

$$= 0.2154 \text{ g/g.product}$$

وبدلالة كسر الماء (نسبة الي الماء)

$$\frac{0.2154}{0.63} = 0.342 \text{ g.Solute/g.Solvent (مذيب)}$$

$$= 342 \text{ g.Solute/1000g.Solvent أو}$$

$$\therefore m = \frac{M_B \text{ (per 1000 g.Solvent)}}{W_B \text{ (molecular wt.of Sucrose)}}$$

$$\therefore m = \frac{342}{342} = 1.0$$

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

$$\Delta T_F = \frac{(8.314)\ (273)^2 (18)(1.0)}{(1000)(18\ x\ 333.22)} = 1.86\ \ k$$

$$\therefore T_F = -1.86\ ^{o}C$$

مثال (٣):

يتم تجميد ١٠٠٠ كجم من السمك (محتواه المائى ١ر٧٩٪) إلى درجة تجميد نهائية تساوى -١٠°م (حوالى ٨٥٪ من الماء متجمد). فإذا كانت الحرارة النوعيه للمواد الصلبه فى المنتج ٥ر١ ك جول/كجم.°م وللماء ١ر٤ ك.جول/كجم.°م وللثلج ٩ر١ ك.جول/كجم/°م. إحسب احتياجات التجميد للسمك من درجة حرارة إبتدائيه مقدارها ٥°م علما بأن الحرارة الكامنه للإنصهار للماء = ٢٢ر٣٣٣ ك.جول/كجم.

الحـل

لكى نتخيل عملية التجميد تفصيلا نوضحها فى الرسم التخطيطى التالى :

درجة حرارة أكبر من درجة التجمد — $T > T_F$

مادة صلبه M_S	ماء غير مجمد M_U

درجة حرارة أقل من درجة التجمد — $T < T_F$

مادة صلبه M_S	ماء غير مجمد M_U	ثلج M_I

درجة حرارة أقل بكثير عن درجة التجمد — $T << T_F$

مادة صلبه M_S	ماء غير مجمد M_U	ثلج M_I

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

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

فإذا كانت درجة الحرارة الابتدائيه قبل التجميد هى :

$$T_1 = 5\ ^oC$$

وكانت درجة الحرارة النهائية (التخزين) هى :

$$T = -10\ ^oC$$

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

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

$$M_S = 209 \quad kg$$

ب- كتلة الماء الغير مجمد

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

$$M_U = 118.65 \quad kg$$

ج- كتلة الماء المجمد (الثلج)

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

$$M_I = 672.35 \quad kg$$

وبالتعويض فى المعادلات السابقه تكون :

كمية الحرارة المحسوسه المزاله من المواد الصلبه

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

$$\therefore \Delta H_S = 4702.5 \quad kJ.$$

كمية الحرارة المحسوسه المزالة من الماء الغير مجمد

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

$$\therefore \Delta H_U = 7297 \quad kJ.$$

كمية الحرارة المحسوسه المزالة من الماء المجمد (الثلج)

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

$$\therefore \Delta H_I = 12774.65 \quad kJ.$$

كمية الحرارة الكامنه

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

$$H_L = 22040.46\ kJ.$$

∴ احتياجات التجميد الاجماليه :

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

$$\therefore \Delta H = 248814.61\ kJ$$

ملحوظة :

أعتبرت درجة حرارة تجمد السمك الابتدائية تساوى صفر °م حيث أنها لم تعطى فى 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 ٣٠ وات/متر مربع كلفن ، ودرجة الحرارة الابتدائية للحم تساوى ٥°م ودرجة حرارة المنتج المجمد -١٠°م . فإذا كانت كتلة اللحم ابعادها ١ متر × ٠٫٢٥ متر × ٠٫٦ متر ، وكثافة اللحم ١٠٥٠ كجم/مترمكعب ، ومعامل التوصيل الحرارى للحم يساوى ١٫٠٨ وات /متر.كلفن اعتبر أن نقطة التجميد الابتدائيه للحم - ١٫٧٥°م والمحتوى المائى للحم المجمد ٧٤٫٥٪ وإحسب الزمن اللازم للوصول إلى درجة حرارة -١٠°م . قارن النتيجة إذا ما استخدمت معادلة ناجوكا فى حساب زمن التجميد علما بأن الحرارة النوعيه للحم قبل التجميد تساوى ٣٫١ وات/كجم كلفن والحرارة النوعيه للحم المجمد ٢٫١ 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 المعادله إلى حساب قيمة β_1 , β_2 والخريطة الرابطة بين قيمهما وكل من ثوابت المعادله P , R كما يلى :

أ- ايجاد قيمة من β_1 , β_2

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

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

ونستخدم الخريطة التى نجد منها $P = 0.3$

ب- يتم عكس قيم كل من β_1 , β_2

$\beta_1 = 4$

$\beta_2 = 2.4$

ومن نفس الخريطة نجد أن $R = 0.085$

ج- يتم الحصول على قيمة الحرارة الكامنه للانصهار L طبقا للمحتوى المائى للمنتج

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

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

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

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

$$\theta_F = 18.7\ \ hrs.$$

ملحوظة :

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

د- يتم حساب كمية الطاقه الحراريه المزالة من درجة الحرارة الابتدائيه إلى درجة الحرارة النهائيه وذلك باستخدام المعادله الاتيه :

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

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

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

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

$$\theta_f = (1.0297)\ [(2957.96)\ (0.0073)]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 21.6 \text{ hrs.}$$

Difference $= 21.6 - 18.7$

$= 2.9$ hrs

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

مسائل عامه

١- اذا كان المحتوى الرطوبى للقراصيا الطازجة ٧٠٪ ومحتواها الرطوبى بعد التجفيف ٧ر١٦٪ ، 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 تبخيرهـــا .
٢- وزن المـادة بعـــــد التجفيـــف .
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 ازالتها 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 رطبة 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 ازالتها.
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 الماده الجافه ١١٥ كجم فى اليوم . اذا كانت المروحه المستخدمه فى دفع الهواء تعمل عند ضغط مقداره ٦٩٠٠٠ 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 ازالتها.
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 ٢٢٥كجم. فاذا كان الهواء الجوى يدخل المجفف عند درجة حرارة جافه ٢٧°م ورطوبه نسبيه 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 ازالتها.
٤- كمية الحرارة الواجب اضافتها للهواء الجوي.
٥- الوقت اللازم لاتمام عملية التجفيف.

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

وزن الهواء المراد ضغطه فـــــى الدقيقـــه = ٢,٢٧ كجم فى الدقيقه
درجة حرارة الهواء عند دخوله اسطوانه الضاغط = ٢١°م
الضغط المطلق للهواء عند دخوله الضاغـــــط = ١,٠٣٤ بار
الضغط المطلق للهواء داخل جهاز التجفـيـــف = ٦,٢ بار
الضغط اللازم لتذرية عصير البرتقال عند الرشاش = ٩,٣ بار
كمية عصير البرتقال المطلوبه للتجفـــــيف = ٤٥,٥ كجم فى الدقيقه
كثافة عصير البرتقال = ١٠٧٣,٢٤ كجم/متر مكعب
الكفاءة الميكانيكيه لكل من الضاغط والطلمبـــه = ٧٥٪

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

١٠- مجفف صوانى يستخدم ٢٨٥ متر مكعب من الهواء فى الدقيقه عند درجة حرارة ٣٨°م لتجفيف ٦٨٠ كجم من شرائح البطاطس من محتوى رطوبى ٨٥٪ الى محتوى رطوبى ٥٪ فاذا كان الهواء الجوى يدخل المجفف عند درجة حرارة جافه ٢١°م ورطوبة نسبيه ٧٠٪ ويسخن الى ٤٣°م ويخرج الهواء من المجفف عند درجة حرارة جافه ٣٥°م احسب :

١- نسبة الرطوبه فى البطاطس قبل وبعد التجفيف.
٢- وزن البطاطس المجفف.
٣- وزن الرطوبه الواجب ازالتها.
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 ١٨°م ورطوبه نسبيه ٨٠٪ ويسخن بحيث تكون درجة حرارة البصل ثابته اثناء التجفيف عند درجة حرارة ٢٤°م ويخرج الهواء من المجفف عند درجة ٣٠°م احسب :

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

١٢- يراد تجفيف حبوب بمعدل ٩٠٨٠ كجم يوميا من محتوى رطوبى ٤٠٪ الى محتوى رطوبى ١٠٪ فاذا كانت الرطوبه المطلقه للهواء الداخل الى المجفف ٠٠٠٧ كجم رطوبه /كجم هواء جاف وللهواء الخارج من المجفف ٠٠١٦ كجم رطوبه/كجم هواء جاف وكانت كثافة الهواء ١٫٢٨كجم/متر مكعب . احسب:

١- القدره الميكانيكيه اللازمه لدفع الهواء داخل الحبوب اذا كان الضغط المقابل يعادل ٥سم ماء وكفاءة الموتور المستخدم ٧٥٪.
٢- الطاقه الكهربيه بالكيلووات ساعه اللازمه لتسخين الهواء من درجة حرارة ٢٤°م الى ٨٠°م.

١٣- مجفف نفق يستخدم لتجفيف بلح من محتوى رطوبى ٦٠٪ الى ٢٠٪ سعته ٢٥ عربة بكل منها ١٢ صنيه حمولة كل منها ١١٫٥ كجم بلح وتستغرق عملية التجفيف ٤ ساعات فاذا كان الهواء يدخل الى مسخن المجفف عند ٢٦°م ، ٧٠٪ رطوبه نسبيه ويتم تسخينه الى ٦٠°م ويخرج الهواء من المجفف عند ٤٣°م . احسب:

١- نسبة الرطوبه قبل وبعد التجفيف.
٢- كمية الرطوبه الواجب ازالتها فى الساعه.
٣- نسبة التجفيف.
٤- كمية الحرارة الواجب اضافتها للهواء معبراً عنها بالحصان البخارى.
٥- قدرة المروحه اللازمه لدفع الهواء اذا كان ضغط تشغيلها ٠٠٠٦٩ بار وكفاءتها ٧٥٪.

١٤- ماهى سعة وحدة التبريد اللازمه لتبريد ٤٥٠٠ كجم من اللبن بعد بسترته على درجة حراره ٦٥°م الى درجة حرارة ١٥°م اذا علمت ان نسبة الدهن والمواد الصلبه الاخرى باللبن ١٢ر٥٪ وان عملية التبريد تستغرق ٦ ساعات مع استخدام الماء فى التبريد الاولى حتى تصل درجة حرارة اللبن الى ٥٠°م علما بان كفاءة وحدة التبريد بمشتملاتها ٩٠٪ .

١٥- اذا كانت عملية فصل الاحماض الدهنيه من زيت بذرة القطن تستلزم تبريد الزيت الى -١٥°م وتستغرق هذه العمليه ثلاث ساعات . احسب سعة وحدة التبريد اللازمه لمصنع يقوم بانتاج ٢٨٠٠ كجم من الزيت يوميا اذا علمت ان الحرارة النوعيه للزيت ٧ر٠ ودرجة حرارته قبل عملية التبريد ٤٠°م وكفاءة وحدة التبريد ٧٠٪ .

١٦- غرفة تبريد تستخدم وسيط مبرد من مخلوط من الماء والملح فاذا كانت درجة حرارة المخلوط الملحى عند دخول الغرفه -١٠°م ودرجة حرارته بعد مروره بالغرفه -٧°م وحرارته النوعيه ٨ر٠ ، ومقدار سريانه ٥٥٠ كجم/ساعه فما هى سعة وحدة التبريد فى اليوم علما بان كفاءة وحدة التبريد الكليه ٨٠٪ .

١٧- ماهى سعة وحدة التبريد اللازمه لامداد مصنع اغذية بمياه الشرب المثلجه اللازمه لعماله اذا علمت ان عدد العمال ٧٤٠ عاملا ، والكميه المقدرة لشرب العامل يوميا حوالى لتر ماء مثلج ودرجة حرارة الماء بعد تبريده ١٠°م ومتوسط درجة حرارة المنطقه ٤٤°م وكفاءة وحدة التبريد ٨٥٪.

١٨- ماهى سعة وحدة التبريد اللازمه لمعمل يقوم بفصل الشمع من غشيم القصب اذا كانت الكمية المبرده يوميا من خليط الشمع والزيت ٢٣ر٥كجم وتبرد من درجة ٥٠°م إلى ٥°م وحرارتها النوعيه ٨٥ر٠ وعدد ساعات التبريد ٥ساعات .

١٩- ثلاجة تجاريه تعمل بطريقة التبريد بالضغط تستخدم لحفظ ٦٧٠ كجم من اللحوم عند درجة حرارة -٦°م لمدة ساعه واحدة . احسب الشغل اللازم لادارة الضاغط اذا علمت ان عدد لفاته ١٠٠ لفه/دقيقه وان سعة وحدة التبريد ١٥ حصان ميكانيكى لكل طن تبريد فى الساعه وان اللحم يدخل الثلاجة عند درجة حرارة ١٠°م. اعتبر ان الحرارة النوعيه للحم تساوى ٧ر٠ .

٢٠- ماهى سعة وحدة التبريد بوحدات طن تبريد/يوم اللازمه لحفظ درجة حرارة ثلاجة للبرتقال ثابته على ٥°م بينما الجو الخارجى الملامس للثلاجة فى درجة حرارة ٣٠°م اذا علمت ان جوانب الثلاجه وسقفها مصنوع من الخشب بسمك ٢.٥سم والمساحه السطحيه للثلاجه ٤ر٧٥ متر مربع ومعزوله بقوالب صوف زجاجى مضغوط بسمك ٣سم وكفاءة وحدة التبريد ٨٠٪ علما بان معامل انتقال الحرارة بالتوصيل للخشب = ٤٥ر٠ وللصوف الزجاجى = ١٠ر٠ كيلوكالورى/ساعه.متر°م ومعامل انتقال الحراره بالنقل للهواء الخارجى الملامس للثلاجة = ٣ كيلوكالورى/ساعه متر٢.°م وللهواء الداخل = ٥ر١ كيلوكالورى/ساعه متر٢.°م .

٢١- ثلاجة تجاريه تعمل بطريقة التبريد الصناعى بالضغط تستخدم لحفظ ٦٧٠ كجم من اللحوم عند درجة حرارة -٦°م لمدة ٨ ساعات ، ويدخل اللحم الثلاجة عند درجة حرارة ١٠°م وحرارته النوعيه ٧ر٠ كيلوكالورى/كجم °م اذا كانت المساحه السطحيه لجدار الثلاجه ٤٠ مترمربع والجدران مكونه من خشب بسمك ٥سم ومعزوله بقوالب صوف زجاجى مضغوط بسمك ٣سم ودرجة حرارة الجو الخارجى الملامس لجدران الثلاجه ٢٠°م . احسب سعة وحدة التبريد الكلية بالطن تبريد فى اليوم اللازمه علما بأن :

معامل انتقال الحرارة بالنقل للجو الخارجى= ٥٠ر٢ كيلوكالورى/ساعه متر٢.°م
معامل انتقال الحرارة بالتوصيل للصوف الزجاجى =١٠ر٠ كيلوكالورى/ساعه متر.°م
معامل انتقال الحرارة بالتوصيل للخشب =٢٥ر٠ كيلوكالورى/ساعه متر.°م
معامل انتقال الحرارة لجو الثلاجة الداخلى =٥٠ر١ كيلوكالورى/ساعه متر٢.°م
كفاءة وحدة التبريد =٨٠٪

٢٢- ثلاجة عرض تعمل بطريقة التبريد الصناعى بالضغط تستخدم لحفظ مواد غذائيه مقدارها ١٠٠٠ كجم يوميا عند درجة حرارة ٥°م . تدخل المواد الغذائيه الثلاجة عند درجة ٢٠°م والحرارة النوعيه المتوسطه لهذه المواد ٦٢ر٠ كيلوكالورى/كجم °م . اذا كانت جدران الثلاجه مكونه من خشب بسمك ٥سم

ومعزوله بقوالب صوف زجاجى بسمك ٥ر٢سم ومساحتها السطحيه ١٥ مترمربع . اما واجهة الثلاجة فمكونه من طبقتين من الزجاج كل منها بسمك ٢٥ر١سم تحصر بينهما طبقة من الهواء بسمك ٥ر٧ سم ومساحتها السطحيه ٥ متر مربع . احسب سعة وحدة التبريد اللازمه بالطن تبريد فى اليوم علما بان :-

درجة حرارة الجو الخارجى الملامس لجدران وواجهة الثلاجة = ٢٠°م

معامل انتقال الحرارة بالنقل للجو الخارجى= ٥ر٢ كيلوكالورى/ساعه متر٢.°م

معامل انتقال الحرارة بالتوصيل للصوف الزجاجى =١٠ر. كيلوكالورى/ساعه متر.°م

معامل انتقال الحرارة بالتوصيل للزجاج =٢ ر. كيلوكالورى/ساعه متر.°م

معامل انتقال الحرارة بالنقل لجو الثلاجه الداخلى =٥ر١ كيلوكالورى/ساعه متر٢.°م

معامل انتقال الحرارة بالتوصيل لطبقة الهواء =٢ ٠ر كيلوكالورى/ساعه متر.°م
المحصوره بين زجاج واجهة الثلاجه

كفاءة وحدة التبريد = ٨٠٪

٢٣- ثلاجة تجارية تعمل بطريقة التبريد الصناعى بالضغط تستخدم لحفظ ١٠٠٠ كجم من التفاح عند درجة حرارة ٥°م لمدة عشر ساعات ويدخل التفاح الثلاجة عند درجة حرارة ١٥°م وحرارته النوعيه ٩ر. كيلوكالورى/كجم °م . فاذا كانت المساحه السطحيه لجدران الثلاجه الجانبيه ٣٠ مترمربع مكونه من طوب احمر بسمك ٥ر٧سم ومغطاه بطبقه من الاسمنت بسمك ٢٥ر١ سم ومعزوله من الداخل بطبقه من قوالب الصوف الزجاجى المضغوط بسمك ٢٥ر١سم والمساحه السطحيه لسقف وارضية الثلاجة ١٥ متر مربع ومكونه من طوب احمر بسمك ٥ر٧ سم ومغطاه بطبقه من اسفلت الاسطح كمادة عازله بسمك ٢٥ر١سم وكانت درجة حرارة الجو الخارجي الملامس لجدران واسقف وارضية الثلاجة ١٥°م وكمية الحرارة المتولدة عن تنفس التفاح ٢.٥ كيلوكالورى لكل طن من التفاح فى اليوم ، احسب سعة وحدة التبريد الكليه بالطن تبريد فى اليوم اللازمه لحفظ درجة حرارة التفاح علما بان :

معامل انتقال الحرارة بالحمل للجو الخارجى= ٥ر٢ كيلوكالورى/ساعه متر٢.°م

معامل انتقال الحرارة بالتوصيل للطوب الاحمر =١٠ر. كيلوكالورى/ساعه متر.°م

معامل انتقال الحرارة بالتوصيل لطبقة الاسمنت =٢٥ ر. كيلوكالورى/ساعه متر.°م

معامل انتقال الحرارة بالتوصيل للصوف الزجاجى =١.ر. كيلوكالورى/ساعه متر.°م
معامل انتقال الحرارة بالتوصيل لاسفلت السطح =٣٥ر. كيلوكالورى/ساعه متر.°م
معامل انتقال الحرارة بالحمل لجر الثلاجه الداخلى =٥ر١ كيلو كالورى/ساعه متر٢.°م
كفاءة وحدة التبريد =٨٥٪

٢٤- ماهى سعة وحدة التبريد بوحدات طن تبريد فى اليوم اللازمه لحفظ درجة حرارة ثلاجة للبرتقال ثابته على ٥°م بينما الجو الخارجى للثلاجه فى درجة حرارة ١٥°م اذا علمت ان جوانب الثلاجه وسقفها مصنوع من الخشب بسمك ٥ر٢سم والمساحه السطحيه للثلاجة ١٥ مترمربع ومعزوله بقوالب صوف زجاجي مضغوط بسمك ٤سم وكفاءة وحدة التبريد ٨٠٪ علما بان معامل انتقال الحرارة بالتوصيل للخشب : ٥ر وللصوف الزجاجى = ١.ر. كيلوكالورى/ساعه متر°م .. ومعامل انتقال الحرارة بالنقل للهواء الملامس لجدران الثلاجه من الخارج = ٥ر٢ كيلوكالورى/ساعه متر٢ °م ، ومعامل انتقال الحرارة بالنقل لجو الثلاجة الداخلى = ٥ر١ كيلوكالورى/ساعه متر٢ °م .

٢٥- ثلاجة تبريد للمواد الغذائيه 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 التأثير ويدور بسرعة ٢٠٠ لفه/الدقيقه كما ان مقدار الارتفاع فى درجة حرارة ماء التبريد بالمكثف يساوى ٥°م . اذا كان مائع التبريد المستخدم ١ - فريون ١٢ ٢- ركلين ١٣٤أ أحسب:

أ - سعة وحدة التبريد.
ب- كمية الحرارة المفقوده فى المكثف.
جـ- معامل الاداء للثلاجة.
د - وزن مائع التشغيل اللازم .
هـ- القدرة المطلوبه للضاغط .
و - ابعاد اسطوانة الضاغط اذا كان قطر الاسطوانه يساوى طول المشوار.
ز - كمية ماء التبريد اللازم لتبريد السائل بالمكثف

٢٦- ثلاجة تبريد تتحمل حمل قدرة ٢٠ طن تبريد ودرجة حرارة المبخر والمكثف ٣٥°م ، -١٢°م على الترتيب فاذا كان الضاغط ذو (٦) اسطوانات ويدور بسرعة ١٥٠٠ لفه/الدقيقه مزدوج التأثير . أحسب :

أولا : للأمونيا ثانيا : للفريون ١٢

أ - سعة التبريد.
ب- كمية الحرارة المفقوده فى المكثف.
جـ- معامل الجودة للثلاجة.
د - كمية مائع التشغيل اللازم .
هـ- القدرة المطلوبه للضاغط .
و - ابعاد اسطوانة الضاغط اذا كانت نسبة طول المشوار الى قطر الاسطوانه = ١ر٢.
ز - كمية ماء التبريد اللازم لتبريد مائع التشغيل بالمكثف اذا كان ارتفاع درجة حرارة مائع التبريد بالمكثف تساوى ٥°م .

٢٧- ثلاجة تبريد تعمل مره بالفريون ١٢ ومرة أخرى بركلين ١٣٤أ كمائع تشغيل بالتبريد و درجة حرارة مكثفها ٣٥°م ودرجة حرارة مبخرها -١٠°م علما بان الضاغط يقوم بضغط الفريون ايزنتروبى من ضغط المبخر الى ضغط المكثف أوجد معامل الجودة للثلاجة فى الحالات الآتيه :

١- بدون استخدام مبادل حرارى .
٢- باستخدام مبادل حرارى لتبريد مائع التبريد المشبع من درجة صفر °م الى درجة -٦°م.

٢٨- ثلاجة تبريد تعمل تحت حمل تبريدى قدرة ١٠ طن تبريد عند درجة حرارة -١٠°م وضاغط يعمل شغل قدرة ٥٠ كيلوكالورى/كجم وذو اسطوانتين وعدد لفاته ١٥٠٠ لفه/الدقيقه فردى التأثير وبمبادل حرارى لتبريد السائل المشبع المكثف الخارج من المكثف بواسطة مياه ومقدار ارتفاع درجات حرارة المبادل ١٠°م. احسب :

١- معدل سريان مائع التبريد فى الدقيقه فى حالة استخدام النوشادر ، وحالة استخدام ركلين ١٣٤أ .
٢- قدرة الضاغط بالحصان الميكانيكى .
٣- كمية ماء التبريد/الدقيقه .

٢٩- ثلاجة تجاريه تعمل بطريقة التبريد الصناعى بالضغط لمائع تبريد ، تستخدم لحفظ ٥٠٠ كجم من اللحوم المجمده عند درجة -١٠°م - ويدخل اللحم الثلاجة عند درجة حرارة ٢٥°م ليتم تجميده فى ٨ ساعات علما بان درجة تجميد اللحم هى -٢°م والحرارة النوعيه قبل التجمد ٧٧ر. والحرارة النوعيه بعد التجميد هى ٤ر. كيلوكالورى/كجم °م . والحراره الكامنه لانصهار اللحم هي ٥٦ كيلوكالوري لكل كجم اذا كانت المساحه السطحيه لجدار الثلاجة ٣٩ متر مربع والجدران مكونه من خشب بسمك ٤سم وصوف زجاجى بسمك ٢سم ودرجة حرارة الجو الخارجى الملامس لجدران الثلاجة ٣٠°م وان معامل انتقال الحرارة للمواد هى :-

معامل انتقال الحرارة بالحمل للجو الخارجى= ٧ر٨ كيلوكالورى/ساعه متر٢.°م

معامل انتقال الحرارة بالتوصيل للزجاج =٢٧ر. كيلوكالورى/ساعه متر.°م

معامل انتقال الحرارة بالتوصيل للخشب =١٤٩ر. كيلوكالورى/ساعه متر.°م

معامل انتقال الحرارة بالحمل لجو الثلاجه الداخلى=٩ر٤ كيلو كالورى/ساعه متر٢.°م

احسب مايأتى لكل من مائع تبريد أ - فريون ١٢ ، ب- ركلين ١٣٤أ

١- الحمل الحرارى مقدرا بالطن تبريد مع اعتبار ٢٥٪ احتياطى خدمه .

٢- القدره اللازمه وكذا قطر اسطوانة الضاغط الذى عدد لفاته ١٥٠٠ لفه/دقيقه مزدوج التأثير.

٣- كمية ماء التبريد فى المكثف علما بان مقدار الارتفاع فى درجة الحرارة ١٠°م.

٣٠- ثلاجة تبريد للمواد الغذائيه تعمل بالضغط لمائع تبريد من ضغط المبخر (١ر٥ جوى) الى ضغط المكثف (٩ جوى) ويخرج الغازمن الضاغط بدرجة حرارة ٨٠°م ليدخل المكثف ويبرد بواسطة ٧ر٥ كجم/دقيقه . وترتفع درجة حرارة ماء التبريد بمقدار ١٠°م .

أ - وقع الدوره على خريطة مائع التبريد اذا كان المائع فريون ١٢ او ركلين ١٣٤أ .

ب- ارسم الدورة موضحا جميع اجزائهـــا .

ج- أحسب حمل التبريد للثلاجة فى كلا الحالتين.

٣١- ثلاجة تبريد للحوم تعمل مره على مائع التبريد فريون ١٢ ومره أخرى على مائع التبريد ركلين ١٣٤أ ذات حمل تبريدى مقداره ٢٥ طن تبريد ودرجة حرارة المكثف والمبخر ٣٠°م ، -١٠°م على الترتيب بحيث تكون انتروبيا الغاز بعد الضغط ١٦ر١ كيلوكالورى/كجم°م فى حالة الفريون ١٢ ، ٨ر١ كيلوجول /كيلو جرام كلفن .

احسب :

١- سعة التبريد .
٢- كمية الحرارة المفقوده بالمكثف في 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 Δ د = ٨°م

٣٢- ثلاجة تبريد تعمل على مائع تبريد الفريون ١٢ ومره اخرى مائع التبريد ركلين ١٣٤ أ ويتم تشغيلها يوميا لمدة ٨ ساعات لتبريد ٥ طن خضروات من درجة حرارة الحقل (٣٠°م) الى درجة حرارة الحفظ (-١٠°م) فاذا اعتبرت البيانات الاتيه :

- الحرارة النوعيه للخضروات = ٧ر٠كيلوكالورى/كجم°م
- معامل انتقال الحرارة بالحمل للهواء الخارجى والداخلى للثلاجه = ٦ ، ٢ كيلوكالورى/ساعه .متر٢ . °م.
- ابعاد الثلاجة ٥ × ٦ × ٦ متر
- حرارة التنفس للخضروات = ٧٠٠ كيلوكالورى/طن.يوم.

احسب مايأتى :-

١- الحمل التبريدى للثلاجة 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 اسطونتين قطر وطول اسطوانتة ١٠ ، ١٢ سم بالترتيب ويدور بسرعة ١٥٠٠ لفه/دقيقه ؟

٣٣- إحسب زمن التجمد اللازم لقطعة سمكها ٠٫٢٥ متر ويمكن اعتبار طوله لانهائى. وضعت قطعة اللحم فى مجمد يعمل بتيار الهواء البارد المدفوع درجة حرارته -٣٠°م ومعامل إنتقال الحرارة بالحمل يساوى ٢٠ وات/متر مربع.كلفن . اذا علمت أن :

كثافة اللحم المجمد	١٠٥٠	كجم/متر مكعب
الحرارة الكامنه لانصهار الثلج	٣٣٣٫٢٢	ك.جول/كجم
المحتوى المائى للجم	٦٥٪	
معامل إنتقال الحرارة بالتوصيل للحم	١٫٣٥	وات/متر .كلفن
الحراره النوعيه للماء الغير مجمد	٣٫٥٠	ك.جول/كجم .°م
الحرارة النوعيه للثلج	١٫٧٥	ك.جول/كجم .°م
الحراره النوعيه للمادة الصلبه	١٫٥٠	ك.جول/كجم .°م

ماذا تكون إحتياجات التجميد اذا كانت درجة الحرارة الابتدائيه ٢٠°م ودرجة حرارة تجمد قطعة اللحم - ٢٫٧٥°م ؟

٣٤- نفق للتجميد الفورى السريع (Instant Quick Freezing IQF) يستخدم لتجميد الفراوله طول السير الناقل ٦ متر. ويستخدم دفع الهواء البارد كوسط للتجميد درجة حرارته -٣٤°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	٩٦٠	كجم/مترمكعب
معامل إنتقال الحرارة بالتوصيل	٢٫٠٨	وات/متر.كلفن

باعتبار أنه يمكن تقريب شكل حبة الفراوله على أنها كرة قطرها ٠٫١٣ متر ، إحسب زمن التجميد وسرعة الناقل اللازمه لذلك .

٣٥- إحسب نقطة تجمد لبن خالى الدهن (Skim milk) علما بان مكوناته هى : ١٫٥٪ لاكتوز ، ٣٫٦٪ بروتين ، ٠٫٨٪ دهن ، ٠٫٣٪ مواد معدنيه ورماد ، ٩٠٫٢٪ ماء مع اعتبار أن وجود اللاكتوز سيكون له الأثر الغالب على نقطة التجمد . (الوزن الجزيئى للاكتوز ٣٤٢).

٣٦- إذا كانت نقطة تجمد عصير العنب تساوى -١ر٨ °م ومحتواه المائى عند هذه الدرجه ٨٤ر٧٪ إحسب الوزن الجزيئى الفعال لعصير العنب .

٣٧- تم تعبئة عصير الفراوله فى عبوة مقاسها (٠ر٤ . متر × ١ر٠ . متر × ١٤ر٠ . متر) وتدخل العبوات مجمد ألواح درجة حرارة الجو المحيط بها -٣٠°م ومعامل انتقال الحراره السطحى يساوى ٢٥ وات/مترمربع كلفن وتدخل العبوه إلى المجمد عند درجة حرارة ٥°م فإذا علمت أن المحتوى المائى للفراوله ٤ر٨٣٪ ومعامل انتقال الحرارة بالتوصيل المكافىء (مادة العبوة وعصير الفراوله) يفترض أنه ٢ وات/متر.كلفن وكثافة الفراوله ٩٦٠ كجم/مترمكعب. مستخدما خرائط التجميد إحسب الزمن اللازم لتجميد عصير الفراوله .

٣٨- إحسب الزمن اللازم لتجميد قطعة من اللحم على شكل لوح رقيق سمكة ٥سم وكانت ظروف التشغيل كما يأتى :

درجة الحرارة الابتدائية للحم = ٥°م

درجة حرارة تجميد اللحم = -٥°م

درجة حرارة اللحم المجمد النهائى = -٢٥°م

درجة حرارة الجو المحيط باللحم = -٣٠°م

الحراره النوعيه للحم قبل التجميد = ٤ر٠ ك.كالورى/كجم °م

الحراره النوعيه للحم بعد التجميد = ٩ر٠ك.كالورى/كجم °م

كثافة اللحم = ١٠٥٠ كجم/مترمكعب

الحرارة الكامنه للتجميد = ٨٠ ك.كالورى/كجم

معامل انتقال الحراره بالتوصيل للحم = ١ر٤٥ ك.كالورى/ساعه.متر °م

معامل انتقال الحراره بالنقل للسطح = ١٨٠ ك.كالورى/ساعه.مترمربع. °م

قارن الزمن باستخدام طريقة بلانك مع طريقة ناجوكا .

References المراجـــــع

اولا : المراجع الاجنبيه :

- ASHRAE Guide and Date 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), Commeraial 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.

- Doolittler 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 Tranient Heat Transfer Charts. Faculty of Agriculture, Ain Shams University.

- Farrall Arthur W. (1976), Food Engineering Systems, Vol. I. 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), Fundemeatals of Food Process Engineering, 2nd ed. Van Nostrand Reinhold, New York.

- 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 السهريجى (١٩٦٨ ، ١٩٨٠)
مذكرات هندسة التصنيع الزراعى .
كلية الزراعه / جامعة عين شمس

- أ.د. صلاح الدين محمود النبوى ، أ.د. يوسف امين والى ، أ.د. أحمد فريد السهريجى ، أ.د. عادل سعد الدين عبد القادر ، أ.د. أحمد أحمد جويلى ، 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 .