جامعة الشيخ عبدالله البدري

تصميم منظومة تبريد خزان مياه بإستخدام وحدة تكييف خارجية

إعداد الطلاب :-

1/ صـــــديــق هيثم الحـــاج الجابـــــري

2 / عبدالغفار عبد الغفار الحسن حسب الله

3/ علي ابراهـــيم علـــــــــــي موســـى

اشراف الدكتور :-

خالـــــد طـــــه

بحث تكميلي لنيل درجة بكالوريوس الشرف

في الهندسة الميكانيكية

كلية الهندسة

قسم الهندسة الميكانيكية

فبراير 2023 م

سلطان

بسم الله الرحمن الرحيم

الآيـــــــة

قال تعالى: -

﴿اولم يرى اللذين كفروا انّ السموات والإرض

كانتا رتقاً ففتقاهما وجعلنا من الماء كل شئ

حي أفلا يؤمنون ﴾

صدق الله العظيم

سورة الانبياء الآية {30}

الإهـــــــــــــــــداء

إلى شهداء بلادي الذين ضحوا بحياتهم في سبيل عزة هذا الوطن وكرامته

إلى من ربياني وعلماني

إلى من بصرنا بهم نور الحياة والتعليم

إلى أنشودة الحنان ونبع العطاء والسخاء ومن سهرت على راحتي

إليك من تسكن تحت إقدامها

أمي الغالية

إلى أبي أدامك الله تاجا على راسي

إلى كل طالب علم

إلى كل هؤلاء اهدي هذا الجهد المتواضع

إلى تلك الشموع التي تحترق لتضيء لنا الطريق

اساتذتي الكرام

الشكر و العرفان

الحمد للّه في البدء للمولي عز شأنه الذي وفقنا لاتمام هذا البحث ونتوسل اليه بالقبول

والرضي فاننا نتقدم بالشكر الجزيل

الي الاستاذ / خالد طه الذي

اشرف علي البحث والذي

امدنا بتوجيهاته السديدة وارئه المفيدة أضافة الي رحابة صدره ونبيل شمائله. فنسأل اللّه

تعالي أن يثبته بما هو اهله انه جواد كريم.

والشكر موصول لأسره كلية الهندسة واخص بالشكر مع التقدير والاحترام أساتذتي بقسم

الهندسة الميكانيكية وعلي رأسهم رئيس القسم الأستاذ/ مرتضي محمد

الباحثون

الفهرس

الرقم	العنوان	الرقم
1	الآية	I
2	الاهداء	II
3	الشكر والعرفان	III
4	الفهرس	IV
5	فهرس الاشكال	V
6	الفصل الأول	
7	المقدمة	1
8	المفهوم العام للتبريد	3
9	طرق التبريد	4
10	التبريد المغناطيسي	6
11	استخدامات التبريد	8
/12	تكييف الهواء الصيفي	9
13	الفصل الثاني	
14	دورات التبريد	10
15	دورات التبريد المفتوحة	10
16	التبريد باستخدام الجليد	10
17	التبريد باستخدام غاز التبريد المستهلك	11

18	دورات التبريد المغلقة	11
19	دورة البخار الأنضغاطي البسيطة	11
20	دورة التبريد الامتصاصية	13
21	دورة التبريد الهوائية(التبريد بواسطة التمدد الهوائي)	14
22	الدورات الحرارية	14
23	الدورة النظرية	15
24	الدورة التبريدية الفعلية	17
25	أسباب الانتقال الي الضاغط متعدد المراحل	18
26	نظام الثلاجة الكهربية المنزلية(التبريد الميكانيكي بالانضغاط)	22
27	المجمدات الصندوقية محكمة الأغلاق الأفقية	24
28	ثلاجات العرض	25
29	انواع المبردات	27
30	الدائرة الميكانيكية(العامة،الخاصة)	27
31	الدائرة الكهربية(العامة،الخاصة)	27
32	الضواغط	28
33	أنواع الضواغط المستخدمة في التبريد	28
34	المكثفات	30
35	المبخرات	35
36	موائع التبريد	40

37	الصفات الفيزيائية الحرارية لوسيط التبريد	41
38	أنواع وصفات التبريد	42
39	أنواع الفريون المشتقة من الميثان	43
40	وسائط التبريد الثانوية	45
41	صمامات التحكم	47
42	الفصل الثالث	
43	التصميم	50
26	أهداف مطلوبات التصميم	50
27	مطلوبات التنفيذ	50
28	خطوات التصميم	51
29	الفصل الرابع	
30	الأجزاء الرئيسية لمنظومة التبريد	56
31	أسعار الأجزاء الرئيسية	57
32	الفصل الخامس	
33	الخاتمة والتوصيات	58
34	التوصيات	59
35	المراجع	60

فهرس الاشكال

الرقم	العنوان	الصفحة
1	الأجزاء الرئيسية لدورة التبريد المباشر	7
2	دورة التبريد الامتصاصية	13
3	دورة التبريد الهوائية	14
4	مخطط الدورة T-S كارنوت العكسية	15
5	مخطط الدورةT-S و H-LOG P	16
6	منظومة الدورة النظرية	17
7	الدورة التبريدية الفعلية	18
8	مخططT-Sلدورة متعددة الانضغاط	19
9	مخططT-Sلدورة التبريد ومرحلتي انضغاط مع تبريد بيني غير كامل	20
10	المكثفات الجوية	32
11	المكثف المائي التبخري	34
12	مبخر مغمور	35
13	المبخرات ذات التمدد الجاف	36
14	المبخرات ذات الحمل الطبيعي	39
15	المبخرات ذات الحمل القسري	39
16	انواع الفريون المشتقة من الأيثان	44
17	درجات الحرارة الكامنة لمشتقات الكلورفلور أيثان	44
18	مبرد كامل وأجزائه	52

الفصل الاول

1. 1 مقدمة :

علم التبريد هو العلم الذي يدرس درجات الحرارة المنخفضة ويستخدم في ذلك غازات معينة مثل النتروجين السائل أو الهليوم السائل أهم متطلبات الحياة حيث لا يخلو أي بيت حديث من أجهزة تبريد سواء كانت ثلاجات لحفظ المواد الغذائية أو أجهزة التكيف المنزلية ويستخدم التبريد أيضا في الصناعة بشكل كبير جدا، فهنالك عمليات صناعية كثيرة تعتمد أساسا علي التبريد مثل: مفصل الغازات بالتبريد، وحفظ المواد الغذائية، وغيرها من العمليات الصناعية الاخرى.

ترجع معرفه الإنسان وحاجته للتبريد إلي قديم الزمان حيث كان قدماء المصريون مثلا يستمتعون بشرب الماء البارد دون إن يكون ببلادهم أي نوع من أنواع الثلج وذلك بوضع الماء في أواني فخارية وتركها فوق أسطح منزلهم وقت الغروب وطوال الليل حيث يعمل نسيم الصحراء الجاف علي تبخير الماء الذي ينفذ خلال مسام الأواني الفخارية فيبرد الماء الموجود بداخلها.

وكذلك الرومان واليونانيون في قديم الزمان سخر عبيدهم في إحضار الثلج الطبيعي من قمم الجبال ثم يخزنوه في حفر ضخمه في باطن الأرض مخروطية الشكل مبطنه بورق الشجر ومغطاة لاستعماله عند الحاجة، الأكسجين الأكبر مثلا كان يستخدم هذا الشكل الطبيعي في تبيد براميل البنين التي كان يقدمها لجنوده في أمسية كل معركة ينتصرون فيها.

إما الإمبراطور فانه كان يحرص دائما علي إن تقدم في ولائمه الكبيرة المأكولات المثلجة ولقد استخدم لذلك المئات من العبيد في تخزين الثلج الطبيعي في سراديب قصيرة .

ولقد استمر استعمال الناس للثلج الطبيعي كوسيلة فقط لتبريد المشروبات المختلفة التي كانوا يتلززون بشربها مدة طويلة من الزمان لم يفكر احد منهم خلاله في استخدامه في غرض أخر كتبريد المأكولات المختلفة لحفظها طازجة لمدة طويلة إلي إن جاء عام1826م حيث فكر في ذلك رجل انجليزي اسمه فرانسيس باكون حيث ذبح دجاجه وبعد افرغ أحشائها ملاها بالثلج الطبيعي ليري ما إذا كانت بهذه الطريقة حفظها طازجة لفترة طويلة، ولكنه مع الأسف لم يعرف نتيجة تجربته حيث وافاه الأجل سريعا.

وبمرور الوقت وبازديان حاجة الإنسان إلي الثلج الطبيعي وللصعوبات الكبيرة التي يعانيها في الحصول عليه والاحتفاظ بت لفترة طويلة ابتداء كثير الكبير (Michael faraday) (ميخائيل فأراي) وكذلك استخدم الدكتور William (Cullen) (وليم قولن) في عام 1775م نظرية التفريع لإنتاج الثلج صناعيا ولكن لم تتعدي هذه التجربة جدران عمله.

وفي عام1834 م صنع المهندس الأمريكي يدعي (جاوب ببركن) أول آلة لإنتاج الثلج صناعيا لاقت نجاحا لابسا بت في حفظ اللحوم المثلجة وفي صناعة البيرة، وفي خلال الثلاثين عاما التي تلت صناعة هذه الآلة اهتم كثير من المخترعين والعلماء بصناعة الآلة التي تنتج الثلج صناعا فمثلا قام احد الأمريكيين والذي يدعي (وننج) من بلدة ني هان بصناعة آلة لعمل الثلج كليفلاند بمقاطعة أوهايو،

وخلال عام1858م اقترح العالم فرديناك كارية آلة لصناعة الثلج بطريقة امتصاص حطي عام1880م ظهر في الولايات المتحدة وحدها 3000 تشغيل للآلات التي تصنع الثلج صناعيا.

وفي عام1885م أنتجت ألمانيا أول معركة آلة لصناعة الثلج بطريقة الامتصاص التي اكتشفها أول الأمر العالم الكبير (فطارداي) وبالرغم من النجاح الكبير الذي صادق العلماء والمخترعين في ذلك الوقت في ميدان صناعة التبريد ، مع الأسف لم يكن هذا النوع من الثلج يلقي إقبالا شديدا من الناس كما كان متوقعا لذلك لاعتقادهم بأنه غير مضمون من الوجهة الصحيحة عند الاستعمال.

وكانت الكميات التي توزع منه قليلة جدا إذا ما قويتن بالكميات التي توزيع من الثلج الطبيعي ، ولكن حدث فجأة حدثين من شانهما إن ابتدأ الناس في الإقبال علي استعمال الثلج الصناعي، الأول هي نشوب الحرب المدنية في أمريكا التي نتج عنها صعوبة حصول الناس علي حاجاتهم من الثلج الطبيعي لتوقف خطوط الملاحه التي كانت تنقل هذا الثلج من الجهات الشمالية.

والثانية حدثت بالضبط في شتاء عام1890م حيث كان هذا الفصل دافئا علي غير عادته في الأعوام السابقة لدرجة لم يكون معا ثلج طبيعي في الجهات الشمالية والتي تسبب هذه الحاثة في انتشار أنواع من الحميات المختلفة بين الناس نتيجة لتناولهم أطعمة أفسدها الجو الحار مما اضطر الأطباء الوصف الثلج الصناعي لتخفيف هذه الحميات والظروف القاهرة التي مر بها الناس آنذاك استعمل الناس هذا النوع من الثلج لكن وجدوه بعد ذلك يفوق الثلج الطبيعي في كثير من النواحي وابتداء يفكرون في الطرق التي من خلالها يحصلون علي كثير من الثلج بانتظام

وبسهوله وبأسعار معقولة ونتيجة لهذا بنيت في القرن التاسع عشر كثير من مصانع الثلجي إنحاء مختلفة وانتشر استعماله بين جميع الطبقات بعد إن كان مقصور علي طبقه الاعتياد فقط.

وبابتداء القرن العشرين وبظهور الكهرباء تقدمت صناعة التبريد والتكيف الهواء تقدما عظيما يشعر بها الإنسان حتي إن حياته لتخلو منها تقريبا في هذا الزمان من ثلاجة كهربائية وفي القريب قد لأنجد منزلا بغير جهاز تكييف هواء.

2. 1 المفهوم العام للتبريد :

يمكن فهم دورة التبريد بتزامل السائل الأكثر شيوعا. الماء ويتوفر الماء في لثالثة حالات صلب(جليد) سائل(ماء) وغاز(بخار ماء)، وتعتمد هذه الحالات المتعددة علي العلاقة بين الضغط ودرجه الحرارة إذا استخدمت الحرارة لصهر الجليد (0c) إلي الماء في الضغط العادي فان درجة الحرارة ستبقي كما هي لان الحرارة قد استخدمت لتغيير حالة الجليد من الحالة الصلبة إلي الحالة السائلة وتعرف الحرارة اللازمة للحصول علي العملية أعلاه (الحرارة الكافية للانصهار وتعادل في الضغط الجوي (33kj/kg) من الجليد ويلزم (33kj/kg) لرفع درجة حرارة الماء درجة مئوية واحدة وتسمي هذه الكمية الحرارة الكافية).

يغلي الماء ويتحول إلي بخار في الضغط الجوي الاعتيادي في درجة(100c) وهذا التغيير في الحالة يحصل أيضا عند درجه ثابتة، وتعرف الطاقة الحرارية اللازمة للحصول هذا التغيير (الحرارة الكامنة للتبخر)، ومن ناحية ثابتة إذا تغيير الضغط الذي فيه الماء، لتغيرت درجة الحرارة التي يحصل فيها الغليان وكذلك

كمية الحرارة اللازمة للتبخير ومن الأمثلة لذلك الماء المغلي علي جبل في جو قليل الكثافة وكذلك قدر الضغط.

إن إضافة إي كمية من الحرارة إلي بخار الماء ستجعل ذلك البخار محمصا حيث سيتحول البخار المشبع إلي بخار محمص.

3. 1 طرق التبريد :

1/التبريد الميكانيكي (Mechanical Refrigeration) : يشمل

أ- ثلاجات التبريد بالهواء (Air Refrigerator). تستخدم في واحد التبريد السفن والطائرات.

ب- ثلاجات تعمل عن طريق ضغط البخار (Vaporscompression). وتعمل بها الأولي تستخدم في واحد التبريد السفن والطائرات، وتعمل بها جميع الثلاجات المنزلية وكذلك مبردات المياه والفريزارات ووحدات التبريد التجارية والصناعية .

ت- ثلاجات تعمل عن طريق امتصاص البخار (VaporsAbsorption). وأوضح استخدام لها ثلاجة الكترولكس والتي تعمل بالبوتاجات.

2/عمليات التبريد الطبيعي (Natural Refrigeration):

وتختلف هذه العمليات التي يتم فيها التبريد بطريقة طبيعية عن التبريد الميكانيكي وعن التبريد بالامتصاص في أمرين:

أ/ سائل التبريد في هذه العمليات لاستعاد مرة أخري.

ب/ اتجاه التدفق الحراري هو من عند درجه الحرارة العالي إلي درجة الحرارة الأقل كما يحدث طبيعيا .

ولعل ثلاجة الحفظ والمياه القديمة ذات ملف المواسير الرصاصية والتي يوضع فوقها الثلج مع تغطية بعازل من خيش أو قماش داخل كبيئة الثلاجة الخشية المبطنة بالصاج هي ابرز استخدام في هذا الاتجاه فالثلج عندما يسمح وهو من هنا يمثل وسيط التبريد لا يستعاد ثم تلا ذلك استخدام الثلج الجاف أو ثلج ثاني أكسيد الكربون الصلب.

3/التبريد الكهربي الحراري(Thermo Electric):

والنظرية التي عليها هذه الثلاجات هي انه إذا مررنا تيارا مستمرا خلال معدنين شبه موصلين فان احد الجانبين سيكون باردا وهذا يمثل (الفريزر) والجانب الأخر سيكون ساخنا يمثل (المكثف).

4/التبريد الكيماوي:

وفي هذا النوع من التبريد تستغل ظاهرة امتصاص الحرارة وانبعاثها من بعض المواد الكيميائية عندما تذوب في بعض السوائل أو عندما تتصهر أكثر من مادة صلبة في الأخرى مكونة معا محلولا والمعروف إن هنالك سوائل كالبزتين ورمزه الكيماوي(CH3 CH2) CH2 CH3)أو ثنائي الايثيل والبروتين ورمزه الكيماوي (CH3 CH2 CH3) عندما يتبخران ينتجان برودة شديدة ولذلك استخدما في التبريد في عربات النقل والمركبات إما بخره البزتين فإنها تستخدم كوقود للمركبات.

وقديما كان الروس يستخدمون أو يستقلون خاصية التبريد الناشئ عن تبخر سائل الامونيا في عربات تبريد السكك الحديدية الروسية، ثم تستعاد بخار الامونيا مرة أخري بامتصاص الماء لها ثم تقطيره لإعادة استخلاصه.

5/التبريد المغناطيسي (Magnetic Cooling):

ميز العالم لجبرت بين المغناطيسات والمواد المغناطيسية فالأولي لها أقطاب تتجاذب المختلفة منها وتتنافر المتشابه ولكن إي قطعة من الحديد سوف تجذب إليها إي من القطبين ، يصرف النظر عن إي مكان إي جزء من الحديد من إي من القطبين، فالمواد المغنطيس إذن ليس لها أقطاب ثابتة أو خطوط مغنطيسية بينما المغنطيس الفعلي فيكون له قطبان أحداهما يتنافر مع قطب مغنطيس أخر.

4. 1 مكونات دورة التبريد الميكانيكي:

قد يكون التبريد مباشرا بمعني إنا نعرض الوسط المواد بريدية لتأثير سائل التأبيد مباشرة ولكن دائرة التبريد

تتكون من أربعة أجزاء وهي:

أ/الضاغط(Compressor).

ب/المكثف(Condenser).

ج/صمام الانتشار(Expansion Valve).

د/المبخر(Evaporator)

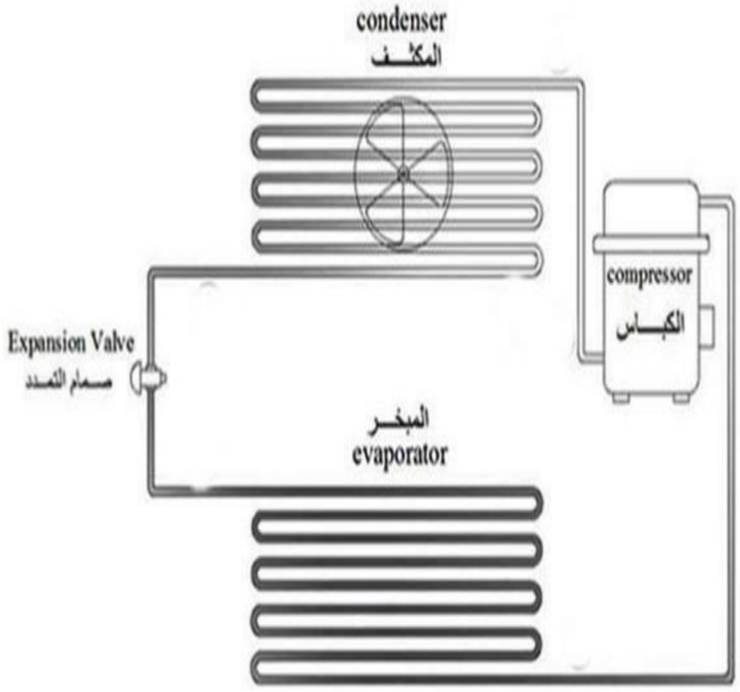
وأجزاء إضافية أخري وهي:

- فاصل الزيت(Oil Separator).
- الصمام المغناطيسي(Solenoid Valve).
- وعاء التجفف (Drier).

- المبادل الحراري(Heat exchanger).
- المجمع(Accumulator).

بالإضافية إلي أجزاء ثانوية ورئيسية توضع في دائرة محرك الضاغط مثل الريلاي وقاطع الوقاية من زيادة العمل، كما في الضواغط المقفلة وأجزاء في دائرة مقوم، محرك الضاغط، الضغط إي نوع كما في الضواغط المفتوحة والنصف مفتوحة.

ومثل هذه الدوائر تستخدم في الثلاجات المنزلية وأجهزة التكييف وفي الثلاجات الخشبية والفريزات وثلاجات بنك الدم وكثير من وحدات التبريد سواء كان المكثف المستخدم مائيا أو هوائيا.



شكل رقم (1.1) الأجزاء الرئيسية لدورة التبريد المباشر

5. 1 استخدامات التبريد:

في الوقت الحالي استخدامات التبريد متعددة الصور وواسعة الانتشار في كل مجالات فإذا كان إنتاج الثلج في وقت ما هو الاستخدام الرئيسي للتبريد فانه في الوقت الحاضر توجد استخدامات منزلية وصناعية بالإضافة وسائل النقل وتكييف الهواء الصيفي.

يمكن تصنيف استخدامات التبريد إلي أربعة مجموعات أساسية:

أ/إنتاج المواد الغذائية :

بعض المجالات الأساسية للصناعات الغذائية والتي تحتاج إلي تبريد هي منتجات الألبان، اللحوم والدواجن، الأسماك، المشروبات، الحلويات.

ب/حفظ وتوزيع المواد الغذائية:

يجب تخزين المواد الغذائية المبردة والمجمدة عند درجات الحرارة المنخفضة للمحافظة علي قيمتها الغذائية ومن أمثلتها(اللحوم الخضراء المجمدة، العجائن، المواد المثلجة.

ج/وسائل النقل :

يجب حفظ المواد المجمدة عند نقلها للسفن، القطارات، الشاحنات، عند درجة الحرارة(20C).

د/عمليات تكنولوجية:

نستخدم التبريد في العملية التكنولوجية التالية:

- فصل الغازات.
- حفظ السوائل.

- حفظ المواد.
- طرد حرارة التفاعل.
- استرجاع المحاليل.
- عمليات التحضير

6. 1 تكيف الهواء الصيفي:

يتطلب تبريد الهواء صيفا لخلق ظروف مريحة للناس في المساكن، أماكن التجمع، أماكن العمل، وسائل النقل.

يعمل الهواء علي زيادة كفاءة العامل وإنتاجيه، يتطلب تكيف الهواء في المعامل المحافظة علي دقة أجهزة القياس، وفي المطابع ومصانع الغزل والنسيج للتحكم في رطوبة الهواء وجودة الإنتاج.

استخدامات خاصة :

- تقسية المعادن
- الطب
- حلقات التزحلق علي الجليد.

الفصل الثاني

2.0 دورات التبريد

2 .1 دورات التبريد المفتوحة :

تم استخدام التبريد منذ سنوات عدة وقد مر بمراحل تطور عديدة قبل ان يصل الى المستوى الذي عليه الان ولبيان مدى التطور والتقدم الحاصل في هذا المجال فإننا سنذكر هنا بعض الطرق التي استخدمت في وقتنا الحاضر.

2 .2 التبريد باستخدام صهر الجليد :

لقد تم استخدام صهر الجليد (الثلج) بنجاح لعدة سنوات كوسط تبريد فمنذ سنوات ليست بالكثيرة جدا كان الثلج ه سيط التبريد الوحيد المتاح للاستعمال في الثلاجات المنزلية وثلاجات المحلات التجارية الصغيرة في الثلاجة التي تعمل بالثلج النموذجية فإن الحرارة التي تدخل الى الحيز المبرد تصل عن طريق جميع المصادر الحرارية المختلفة الى الثلج المنصهر بشكل اساسي بواسطة تيارات الحمل الناشئة في الهواء داخل الحيز المبرد.

الهواء الملامس للحائط الدافئ والمنتج يسخن بواسطة الحرارة الموصولة عليه من هذه المصادر وعنما يسخن هذا الهواء تقل كثافته فيرتفع الى اعلى الحيز حامل معه الحرارة الي مكان وجود الثلج واثناء مرور الهواء فوق الثلج يبرد الهواء حيث توصل الحرارة من الهواء الي الثلج ويصبح الهواء بهذا التبريد اكثر كثافة واثقل فيه بط الثانية بداخل حيز التسخين وبناء عليه يمتص حرارة اكثر وتستمر الدورة.

الهواء هنا يعمل كوسيط لنقل الحرارة وذلك عن طريق حمله لها من الحائط الدافئ والمنتج الدافئ المخزون الثلج المنصهر ولضمان مرور هواء كافي بداخل الحيز فانه يجب ان يوضع الثلج بالقرب من القسم العلوي للثلاجة كما ويجب وضع حواجز مناسبة لتهيئ ممرات مناسبة غير محصورة لانسياب الهواء كما يجب وضع مصرف اسفل الثلج لتجميع الماء من انصهار هذا الثلج.

2.3 التبريد باستخدام غاز التبريد المستهلك:

يمكن تبريد حيز معزول تبريدا تاما يجعل سائل التبريد يتبخر في وعاء مهوى الي الخارج وبما ان سائل التبريد تكون درجة حرارة مشبعة منخفضة عند الضغط الجوي ربما ان الوعاء معرض للضغط الجوي فان وسيط التبريد السائل سيتبخر عند هذه الدرجة المنخفضة من الحرارة نتيجة لامتصاصه الحرارة من الحيز الموضوع فيه الوعاء والذي تكون درجة حرارته مرتفعة عن طريق جدران الوعاء الذي يحوي وسيط التبريد السائل وتغادر الحرارة الممتصة الحيز بواسطة السائل المتبخر والهارب من خلال المنفس المفتوح وبما ان درجة حرارة السائل تبقى فإن التبريد سيستمر حتى يتبخر جميع سائل التبريد الموجود في الوعاء.

2.4 دورات التبريد المغلقة:

من الناحية الاقتصادية فإنه ليس علميا واقتصاديا السماح لبخار وسيط التسريب بالتسرب للخارج وفقدانه بالانتشار في الهواء لذلك وجدت دوائر مغلقة.

2.5 دورة البخار الانضغاطي البسيطة:

تبين او براءة اختراع في التبريد الميكانيكي كيف يمكن الاستفادة من خواص المائع في التبريد فتقول الخلاصة (إن ما أدعيه هو منظومة استطيع بواسطتها استخدام مائع متطاير لغرض تبريد او تجميد

المائع وفي نفس الوقت وبصورة مستمرة تكثيف المائع المتطاير استخدامه مرة بعد مرة وبدون خسارة). إذا كان الماء ه المائع المتطاير فإن درة التبريد ستكون كالآتي :

يسخن الماء إلي درجة الغليان حيث تتغير حالته من الحالة السائلة إلي الحالة الغازية (ماء الي بخار) ثم يخفف البخار بالتحميص ويتم هذا في المبخر ، يخضع البخار لعملية تبريد يفقد فيها درجة الحرارة والضغط.

بعد ذلك يخضع البخار لعملية تبريد يخضع فيها حرارة التخميص اولاً ثم يتحول من بخار ماء جاف مشبع الى سائل باستخلاص الحرارة الكامنة ومنثم تبريده لما دون السائل المشبع الى ماء ، وتتم عملية التكثيف هذه في المكثف.

إذا أضيف ضاغط بعد المبخر لضغط البخار الجاف فانه سيكتسب تحميصا إضافيا بفعل الانضغاط وسترفع درجة حرارة الغليان أو التكثيف والتبريد لحد معين لملء دون السائل المشبع في ثبوت الانتقالي (وفي هذه العملية يتبخر قسم من المائع ويستمد الحرارة اللازمة لذلك من السائل نفسه ، ويمكن بعد ذلك المادة لتسخين خليط الماء والبخار الناتج المنخفض الضغط في البخار ثم ضغطه ثانية وتتكرر العملية مرة بعد مرة وبدون خسارة).

لا يصلح الماء لسوء الحظ الاستخدام في وحدات التبريد لأنه توفير فراغ عالي ويلزم هذا تفير ضاغط كبير لرفع البخار الماء الحمص كبير الحج وقليل الوزن.

توجد مع ذلك عدة سوائل تغلي في درجة حرارة اقل كثير من الماء ومن استخدام ضاغط تردي فإن وزن الغاز المتناول وكذلك التأثير التبريدي في كل شوط سيكون أكبر ، وبالتالي إمكانية استخدام ضاغط أصغر في وحدات التبريد التي تستخدم الفريون.

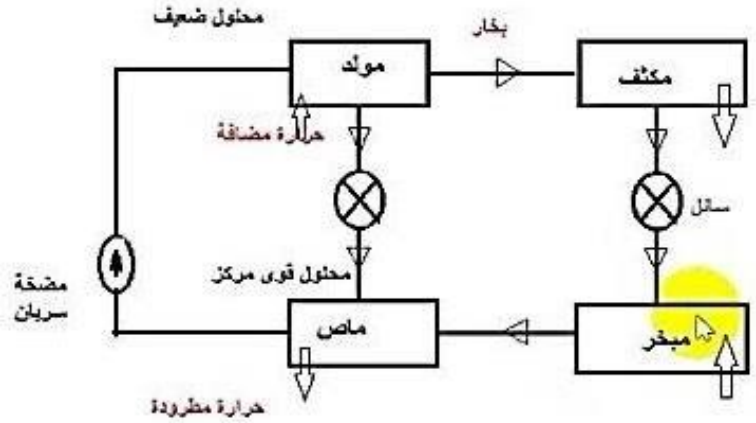
ان وحدة القياس الشائعة في التبريد هي ط التبريد (ton – R) وهي تعادل (3517w) أو (12000) Btu/h وهي الطاقة الحرارية اللازمة لصهر طن واحد من الجليد تحت الضغط الجي في يوم واحد.

عند استخدام مواقع غير الماء فإن دورة التبريد هذه يطلق عليها دورة التبريد الميكانيكية بالانضغاط وتتألف هذه الدورة من مبخر وضاغط ومكثف وصمام.

في المبخر يتم امتصاص للحرارة من الحيز المراد تبريده بواسطة وسيط التبريد الذي يتبخر نتيجة امتصاصه للحرارة فيتحول الي غاز وبعد ذلك يدخل غاز وسيط التبريد الي الضاغط حيث يقوم بضغطه فيرتفع ضغطه وبالتالي درجة حرارة بحيث تصبح اعلي من درجة حرارة الوسيط المحيط والمراد طرد الحرارة اليه ، وبعد ذلك يدخل وسيط التبريد الغازي العالي الضغط ودرجة الحرارة الى المكثف حيث يتم من خلاله طرد الحرارة الى الوسيط المحيط (الخارجي) ونتيجة لذلك يتكاثف وسيط التبريد الغازي ويتحول مرة أخري الى سائل وبعد ذلك يدخل الي صمام (الخنق) حيث يقوم هذا الصمام بعملية الضغط ثم انتشار لوسيط التبريد حيث يخرج على شكل رزاز(مزيج من البخار والسائل ومن ثم يدخل الى المبخر وهكذا تستمر منطقة التبخر منطقة الضغط المنخفض بينما تسمى منطقة المكثف بمنطقة الضغط العالي).

6. 2 دورة التبريد الامتصاصية:

تعمل دورة الامتصاص الاساسية بنفس المبدأ الذي تعمل به دورة التبريد الميكانيكي ، وهو تبخر سائل التبريد في درجة حرارة منخفضة عندما يتعرض لضغط منخفض ، في هذه الحالة فراغ كبير (Vacum High) وإضافة لذلك ان بعض المحاليل مثل بروميد الليثيوم لهل قابلية لامتصاص بخار الماء. وفي هذه الحالة يكون الماء هو السائل التبريد وبروميد الليثيوم ه السائل الماص ، تزداد سرعة التبخر لحجم معين مما ازدادت مساحة السطحية ، وافضل طريقة لهذا الغرض هي رش الماء في تيار الهواء كما في غسالات الهواء أو ابراج التبريد.

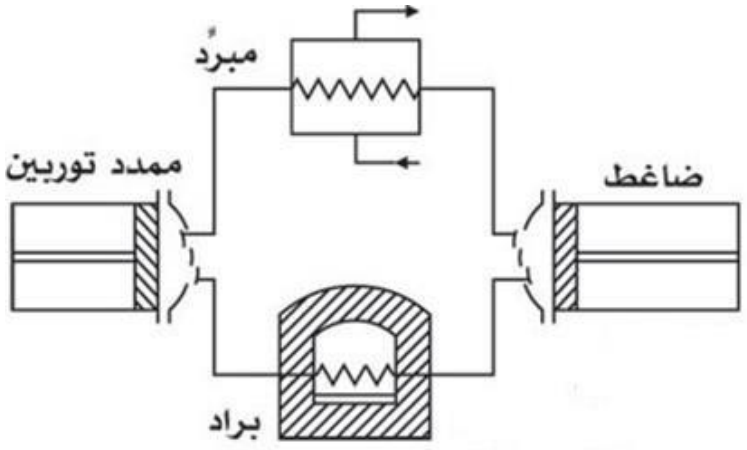


شكل رقم (2-1) دورة التبريد الآمتصاصية

2 .7 دورة التبريد الهوائية (التبريد بواسطة التمدد الهوائي):

وهي تتألف من الحيز المراد تبريده وضاغط ومبرد بيني ومدد توربيني والدورة تتم على الشكل الاتي:

الضاغط يسحب الهواء من الحيز المبرد ويضغطه في الاجزاء من (1 الى 3) ويرفع درجة حرارته ويمد بعد ذلك المبرد البيني حيث يبرد درجة حرارة الوسط الخارجي المحيط بثبوت الضغط خلال من (2 الى3) وبعد ذلك يمر الهواء على الممد التوربيني الذي يري الي الانخفاض ضغطه ودرجة حرارته خلال الاجزاء من (3 الى 4) ومن ثم يدخل الحيز المبرد حيث يكتسب الحرارة وترتفع درجة حرارته خلال الاجزاء من (4 الى 1) ومن ثم يدخل الهواء الى الضاغط وهكذا تستمر الدورة.

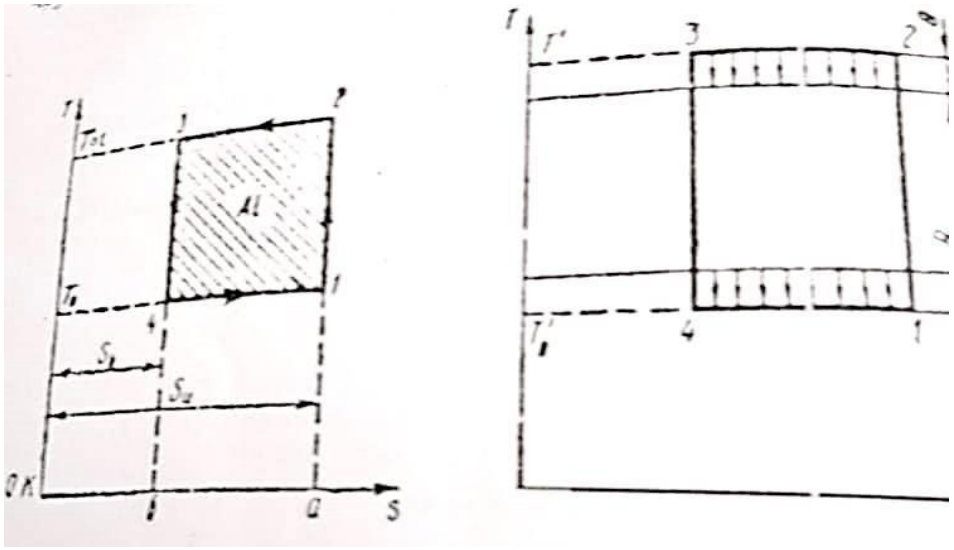


شكل: رقم (2-2) دورة التبريد الهوائية

الدورات الحرارية :

1/ دورة كارنوت العكسية :

تعد دورة كارنوت العكسية من وجهة نظر الفعالية التبريدية للدورة الأقل استهلاكاً للقدرة مع الفعالية التبريدية نفسها للدورات الاخري. تتألف دورة كارنوت العكسية التبريدية من اجرائين بثبوت درجة الحرارة (Sothwrmal Adiabatic)

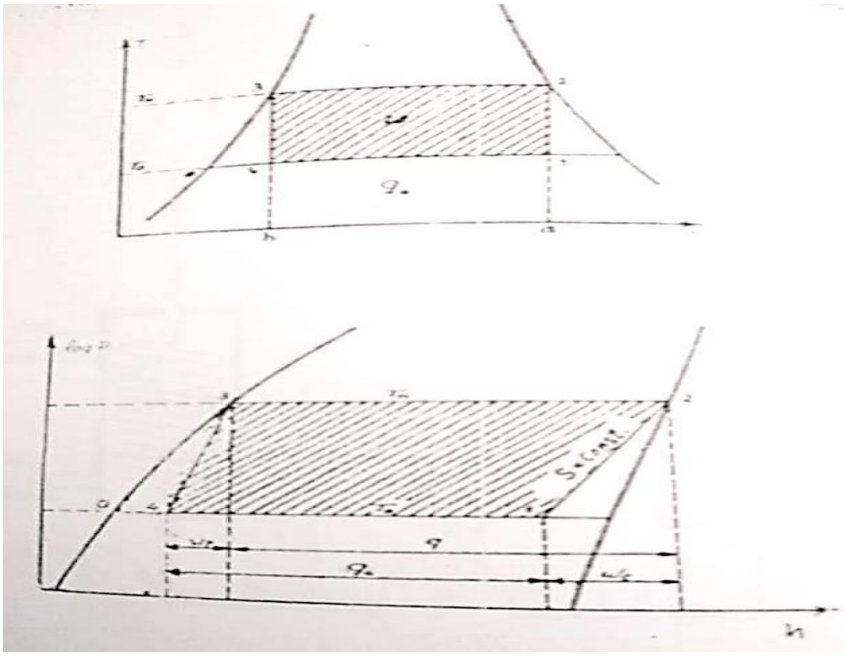


شكل رقم (2-3) مخطط الدورة T-S كارنوت العكسية

الدورة النظرية :

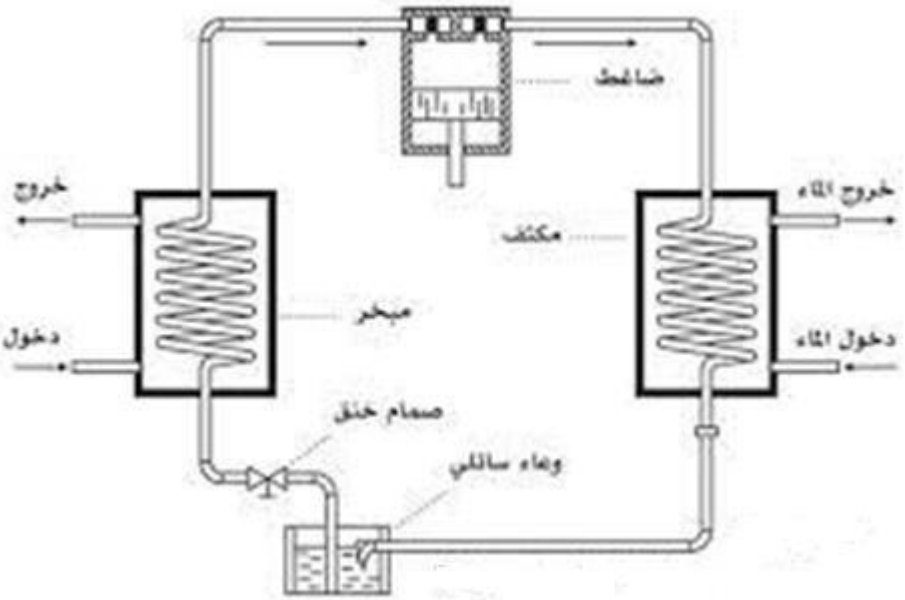
يبين الشكل آلة التبريد بسيطة من مكثف ضاغط ومبخر ومحدد توربيني يتم عمل الدورة على الشكل التالي :

الخارج الرطب الخارج من المبخر والمحدد ببارامترات حسب النقطة (1) يدخل الى الضاغط حيث ينضغط بثبوت انتروبي حتي النقطة (2) لتصبح بارميترات الغاز Pk .tk.



شكل رقم (2-4) مخطط الدورة T-S و H-LOGP الدورة النظرية

لتحقق عملية الانضغاط هذه تحتاج الى صرف قدرة ميكانيكية (WC) ومن ثم يتجه البخار المضغوط الى المكثف حيث يتكثف عند ضغط ودرجة حرارة ثابتين (الأجزاء من 2 إلى 3) مع حدود انتقال حراري من الوسيط العامل إلى الوسيط المحيط يدخل وسيط التبريد السائل الخارج من المكثف الى المدد التوربين أو يتم تمدده بثبات انتروبي.



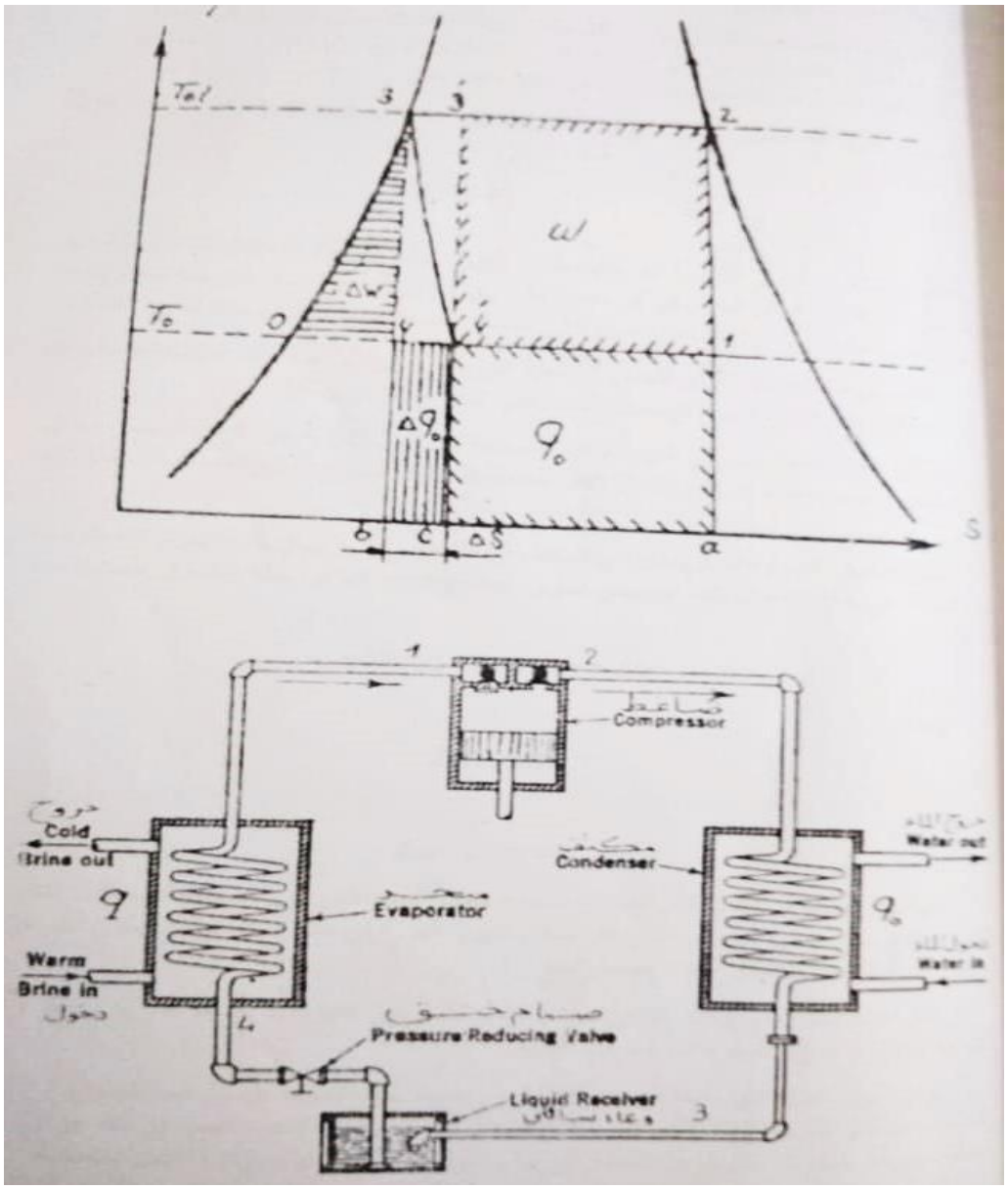
شكل رقم (5-2) منظومة الدورة النظرية

الدورة التبريدية الفعلية :

تمتاز الدورة التبريدية الفعلية عن مثيلتها النظرية من حيث مسار الإجراء بوجود انحرافات عما سبق شرحه في الدورة النظرية.

الانحراف الأول : استبدال الممد التوربيني بصمام خائف.

الانحراف الثاني : نقصان الإنتاجية التبريدية بمقدار (Cpo) بسبب ان قدرة الاحتكاك أثناء عملية خنق وسط التبريد في صمام خنق تتحول الى قدرة حرارية تؤدي الى زيادة نسبة البخار الموافقة لسائل وسيط التبريد.

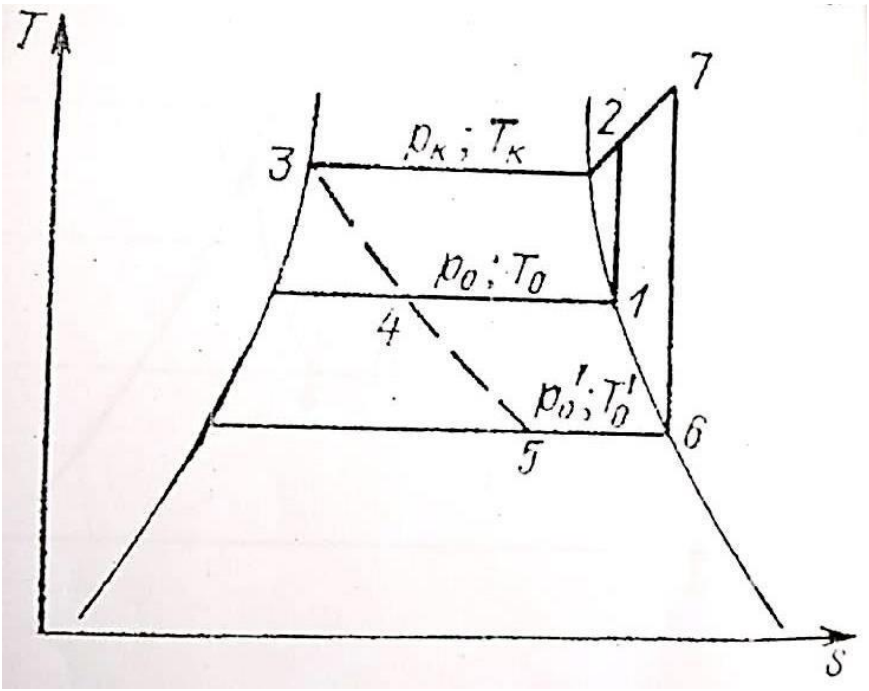


شكل رقم (6-2) الدورة التبريدية الفعلية

2 .8 أسباب الانتقال الى الضاغط متعدد المراحل:

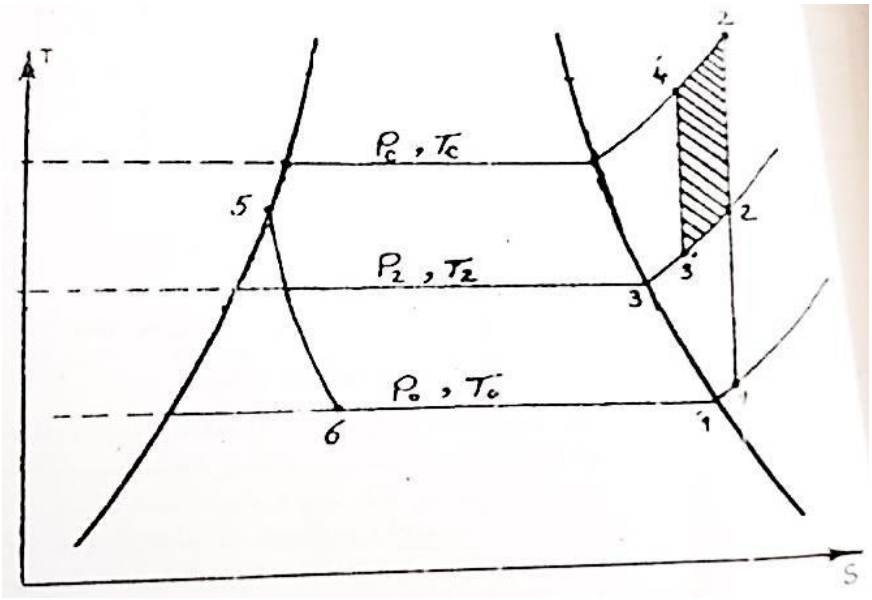
عند إنخفاض درجة حرارة غليان وسط التبريد أو أرتفاع درجة حرارة تكاثفه يزداد مستوى ارتفاع الضغط Pk/po وفرق الضغط Pk/po وهذا يؤدي الى الإساءة كمعاملات الطاقة والحجمية للضواغط مما يزيد من التكاليف للحصول على التبريد الاصطناعي عند استخدام آلات التبريد البخارية وحيدة المرحلة ،

وحـــدات التبريـــد بمـــرحلتين الضـــاغط مـــع التبريـــد غيـــر كامـــل بوجـــود صـــمام تمـــدد واحد.



شكل رقم (2-7) مخطط T-S لدورة متعددة الانضغاط

ملاحظة انـــه يمكـــن لمســـاعدتها للحصـــول علـــى درجـــة حـــرارة غليـــان واحـــدة ودرجتـــي غليان مختلفتـــين لوســـيط التبريـــد وفـــي الحالـــة الأخيـــرة يمكـــن ان يبـــرد مكـــانين مختلفـــين بدرجتي حرارة مختلفتين ثم عليه عمل الدورة على الشكل التالي :



شكل رقم (2-8) مخطط T-S لدورة التبريد ومرحلتي انضغاط مع تبريد بيني غير كامل

بعد عملية الخنق هذه يؤخذ السائل الناتج إلى الوعاء البيني ليتم تبخره هناك وبالتالي تبريد القسم P المار عبر الانبوب (الاجزاء من 5- -5).

الحالة المثالية فان السائل وسيط التبريد P1 يبرد في الوعاء البيني حتى T6وإلى النقطة (−5) تنطبق هذه الحالة على نقطة وعلي المخطط T5 وفي الواقع تكون درجة حرارة السائل المار ضمن انبوب التبادل الحراري في الوعاء البيثني اعلي درجة حرارة السائل وسيط التبريد اي 17 اقل من 15 فرق درجة الحرارة هذه يتراوح ما بين 2- 4 ، وينعكس هذا الفرق على زيادة قيمة الضياع اللا عكسي في الدورة الثرموديناميكية الذي يؤدي الى إبعادها علي صفة الكامل الثرموديناميكية. يدخل سائل وسط التبريد الخارج من الوعاء البيني الى صمام التبريد Ev2 حيث تتم عملية خنقه دفعة واحدة من الضاغط Tc الي Po الاجزاء من (−5 – 8).

بعد خروج المزيج البخاري – السائلي من صمام الخنق (النقطة8) ويستفاد من هذا المزيج في احداث التأثير التبريدي المطلوب في المبخر (الاجزاء 8 الى 1-) يقوم ضاغط المرحلة الاولى بامتصاص البخار الخارج من المبخر والمحددة شروطه وفق النقطة (1-) ويقوم بضغطه اديباتي (حتي النقطة2) يوجه البخار المضغوط والساخن الى الوعاء البيني ليتم تبريده الى النقطة الاشباعية (3) (تبريد بيني كامل)

بدراسة عملية التوازن الكتلي للوعاء البيني نرى ان الوعاء البيني يستقبل من المكثف كمية من وسيط التبريد تساوي (G→ G1) يتحول منها الى بخار 6 µ (G→ G1) نتيجة عملية الخنق يبقي سائل يساوي kg(6 µ – 1) (1 – G1) والذي يتحول الى بخار ضمن الوعاء البيني نفسه. (G→

التبريد التأثيري الناتج عن تبرد هذه الكمية من السائل يصرف لغرضين : الأول تحقيق عملية التبريد البيني الكامل من المرحلتين لـــــــــــ (G1 kg) من بخار وسيط التبريد.

الثاني: تحقيق عملية زيادة التبريد العميق (G2 kg) المادة عبر انبوب الكمية السائل اللازمة لتحقيق عملية التبريد البيني بين مرحلتين تساوي (G) وتكون معادلة التوازن الحراري على الشكل التالي:

$$G1(i2 - i3) = G-(i3 - i7)$$

وبفرض ان كمية السائل اللازمة لتحقيق عملية التبريد العميق = (G) وتكون كمية البخار التي يمتصها ضاغط المرحلة الثانية.

$$G = Gx6 + G1 + G + G2$$

حيث :

6 μ (G→ G1) = تمثل كمية البخارالمتشكل بعد صمام الخنق Ev1

G1 = كمية البخار الخارج من المبخر

G- = كمية البخار المتشكل في الوعاء البيني للتحقيق التبريد البيني الكامل لـــــــ G1 بخار

G = كمية البخار المتشكل في الوعاء البيني نتيجة زيادة التبريد بكمية G1 سائل تنضغط كمية البخار المحسوبة وفق المعادلة (4 - 46) في ضاغط المرحلة الثانية (الضاغط المرتفع) ادبياتي الاجزاء من (4 – 3) ومن ثم يتكاثف البخار المض غوط والساخن في المكثف (الاجزاء 4 – 5) ويتابع السائل الخارج من المكثف دورته كما اسلفنا الذكر. تتميز هذه الطريقة بعدم احكام دخول زيت ضاغط المرحلة الاولي للمبخر وبالتالي عدم اتساخ للمبردات الحرارية.

الثلاجة المنزلية :

بدأت صناعة الثلاجات المنزلية في النمو منذ عام 1920 وقبل عام 1960 استعملت الثلاجات الكهربائية في جميع المناطق المزودة بالكهرباء في الولايات المتحدة وأوربا واصبحت صناعة الثلاجات المنزلية في الوقت الحاضر من الصناعات الأساسية وذلك لأن الثلاجات المنزلية أصبحت تمثل جزءاً رئيسياً من مستلزمات البيوت الحديثة ، والثلاجة المنزلية المستخدمة حالياً وفي معظم دول العالم تعتمد في طريقة عملها على أحد النظامين التاليين:

1/ نظام التبريد الميكانيكي بالانضغاط (الثلاجة الكهربية).

2/ نظام التبريد بالامتصاص (ثلاجة الغاز).

نظام الثلاجة الكهربية المنزلية (التبريد الميكانيكي بالانضغاط) :

تتركب هذه الثلاجة من الاجزاء الرئيسية الآتية:

1/ الضاغط ومحركه ويكون هذا النوع المحكم القفل ويقوم بحفظ غاز وسيط التبريد لرفع درجة حرارته بحيث تصبح أعلي من درجة حرارة الجو الخارجي.

2/ المكثف: ويتم فيه تكثيف غاز وسيط التبريد وتحويله الي سائل وذلك عن طريق التبادل الحراري مع الج الخارجي للمحيط.

3/ المبخر(الفريزر): وفيه يتم امتصاص الحرارة من داخل حيز الثلاجة وتحويل سائل وسيط التبريد إلى غاز.

4/ الأنبوبة الشعرية: وهي تقوم بعمل مهام التمدد بحيث تعمل علي الموازنة ما بين منطقة الضغط الغالي ومنطقة الضغط المنخفض وكذلك تتحكم في كمية وسيط التبريد الداخلة للحيز وتكون:

1/ المجفف (المصفاة).

2/ المجمع (المستقبل).

3/ المبادل الحراري وهو عبارو عن ماسورة الأنبوبة الشعرية تكون ملتصقة مع جزء من ماسورة الراجع أو موجودة فيه وذلك لزيادة تسخين الوسيط الداخل للضاغط وزيادة تبريد الوسيط الماء في الأنبوبة الشعرية.

مبدأ العمل : في المبخر يتم امتصاص الحرارة من الحيز المراد تبريده (حيز الثلاجة) والناتجة بالتبادل الحراري بين جدران الثلاجة والوسط المحيط وكذلك من المنتجات الغذائية الموجودة في الثلاجة وغير ذلك بواسطة وسيط التبريد فيتحول الى بخار ثم يسحب عن طريق الشعرية الملفوفة وترفع من درجة حرارة

بخـــار وســـط التبريـــد ورفـــع درجـــة حرارتـــه لتصـــبح أعلـــى مـــن درجـــة حـــرارة الجـــو المحيط ثم يطرد البخـــار المضـــغوط الـــى المكثـــف حيـــث يـــتم خلالـــه تبـــادل للحـــرارة مـــع الوســـط المحـــيط ويـــتم طـــرد الحـــرارة للوســـط المحـــيط وينـــتج عـــن ذلـــك تكثـــف وســـيط التبريد وتحوله الـــى ســـائل ثـــم يـــدخل الـــى المجفـــف (الفلتـــر) الـــذي يقـــوم بتنقيـــة الوســـيط من الشوائب العالقـــة وتخليصـــه مـــن الرطوبـــة ان وجـــدت ومـــن ثـــم يـــدخل الســـائل وســـيط التبريد الى الانبوبة الشـــعرية التـــي تعمـــل علـــي تقليـــل ضـــغطه ومـــن ثـــم درجـــة حرارتـــه ثم انتشاره وبالتالي يدخل الي المبخر ثانية وهكذا تستمر الدورة.

لقد تطـــورت الثلاجـــات المنزليـــة الآن حيـــث أصـــبح منهـــا أنـــواع تســـتخدم اســـاليب تحكـــم حديثـــة بالاضـــافة للثرموســـتات المســـتعمل للـــتحكم فـــي درجـــة الحـــرارة داخـــل الثلاجـــة فقـــد اصـــبح لـــدينا الآن ثلاجـــات نوفروســـت (مانعـــة لتشـــكيل الجليـــد) وفيهـــا يســـتخدم مســـخن ومؤقـــت زمنـــي الأول لإزالـــة الجليـــد المتشـــكل علـــي المبخـــر وبالتـــالي لتوقيـــت عملية تشغيل المســـخن وإيقافـــه ويـــتم هنـــا توزيـــع الهـــواء البـــارد داخـــل الثلاجـــة بواســـطه مروحة أي ان التبريـــد هنـــا يـــتم بواســـطة مبخـــرات قيريـــة (مبخـــر مـــع مروحـــة) وهنالـــك ثلاجات الديفروست ويكـــون تشـــكيل الجليـــد فيهـــا أقـــل مـــن الثلاجـــة العاديـــة وهـــي مـــزودة بمسخن أيضـــاً ويوجـــد هنالـــك أنـــواع مـــن الثلاجـــات تكـــون علـــي شـــكل حيـــزين أحـــدهما للتجميـــد والآخـــر للتبريـــد وبكـــل حيـــز مبخـــره الخـــاص بـــه وفـــي الثلاجـــات الديفروســـت تزود أيضـــاً بمســـخن لإزالـــة الجليـــد مـــن بعـــض الطبقـــات ويكـــون الترموســـتات المـــتحكم في درجة الحرارة من النوع ذو الثلاثة خطوط.

الديب فريزر:

يستخدم المجمدات بشكل كبير في وقتنا الحاضر وذلك للحفاظ على الاطعمة المجمدة عند درجة حرارة حسب المواصفات التي تكون أو بها وثلاجات الطعام المجمدة عادة تكون درجة حرارتها أقل من 18°C وهنالك نوعين رئيسين من المجمدات:

1/ المجمد الصندوقي المحكم الإغلاق أو المجمد الأفقي.

2/ المجمد القائم أو العمودي.

2.9 المجمدات الصندوقية محكمة الإغلاق الأفقية:

في هذا النوع من المجمدات مميزات وحسنات معينة تجعل استعماله مفيداً بما أن الهواء بطبيعته أثقل من الهواء الساخن فإن الهواء البارد جداً في المجمد لن يفيض ولن يخرج من المجمد في كل مرة يفتح غطاءه وذلك لأن الهواء الساخن لن يدخل بسهولة للمجمد وذلك لأنه بطبيعته يصعد الى الأعلى ولا ينزل إلى اسفل مما يجعل من عملية التبادل الحراري ودخول الهواء عند فتح الباب قليلة وبالتالي يؤدي الي منع كمية كبيرة ومهمة من الرطوبة من الدخول الي المجمد ولكن يكون هنالك عملية تغيير هوائي عند فتح باب المجمد ولكن بنسبة قليلة.

وتسهيل عملية استعمال هذ النوع من المجمدات فانها تزود عادة بسلا يمكن رفعها للخارج وذلك لإعطاء مجاب صناديق الطعام المجمد بوضعها بالقرب من قاع المجمد وتزود الأغطية كذلك بضوء يعطي إنارة جيدة عند فتح باب المجمد ويعتبر هذا النوع من المجمدات النموذج الأكثر اقتصادياً في آلية تجميد الأطعمة.

معظم المجمدات من هذا النوع يتطلب إذابة الصقيع يدوياً لكن وبما ان كميات قليلة من الرطوبة تدخل للمجمد فإن عملية إذابة الصقيع لا تحتاج لها عادة أكثر

من مرة واحدة مرتين في السنة ويمكن انجاز الاذابة بشكل جيد عن طريق المخزون ووضع مكانه إما عنصر تسخين فارغ أو بسكب الماء الساخن داخل المجمد وعند إغلاق باب المجمد فإن الصقيع سيسقط خارجاً من على جسم سطح المبخر وبالتالي يصبح سهل الإزالة ولذلك تزود معظم المجمدات من هذا النوع بمصرف وذلك يجعل إزالة عملية الرطوبة عملية سهلة جداً اما الرطوبة المتبقية فيتم مسحها لإخراجها خارج المجمدة ، والمجمدات من هذا النوع متوفرة باحجام وسعات مختلفة ويكون الاكتفاء والعمق متناسقين تماماً.

ثلاجات العرض :

تستعمل ثلاجات العرض بشكل كبير ومتكرر في البقالات والسوبر ماركت والمخازن وذلك لعرض المنتجات بشكل جيد وهذه الثلاجات تكون مجهزة في زجاج في المقدمة والزبون تمكنه من رؤية الأصناف المطلوبة عند التاجر وفي نفس الوقت يكون الطعام مبرد بشكل آمن ، ومثل هذا التبريد يكون ضرورياً لمنع فساد الطعام خلاف التي يكون الطعام مقرن في الثلاجة تحدد درجة الحرارة في ثلاجة العرض حسب القائمة من استعمالها.

الأضواء الكهربائية المستعملة لإضاءة الثلاجات العرض تكون منشأة عادة خارج زجاج الثلاجة بحيث ان الحرارة المتولدة من الانارة لا تؤدي الى زيادة حمل التبريد.

تتنوع ثلاجات العرض هذه حسب التصميم والطول والارتفاع وتكوينها إلى:

1/ ثلاجة عرض زجاجية.

2/ ثلاجة لعرض المنتجات المتجمدة.

3/ ثلاجة عرض مفتوحة.

وتنقسم حسب المنتجات الى:

1/ ثلاجة ذات مبخر علوي.

2/ ثلاجات ذات مبخر جانبي.

3/ ثلاجات ذات مبخر موضوع عند القاعدة.

المبردات :

كابينة (صندوق) مبرد يتكون عادة من هيكل فولازي تغلق بصحيفة معدنية بداخل هذا الغلاف المعدني تكون هنالك وحدة التكثيف وتكون موضوعة عادة بالقرب من الأرضية وتوضع فوقها آلية تبريد الماء ، وتكون آلية التبريد هي الجزء الوحيد المعزول للبلاستيك المرغي ويكون العزل لمادة مشكلا تشكيلاً خاص وبسماكة تتراوح (4 – 5 cm) بعرض المبرد ان تكون مزود بمسخن ويعطي ماءاً ساخن وبعضها يكون لها أيضاً حجر تبريد لخزن الحليب والمشروعات الخفيفة أو الطعام.

وتصنع كابين المبردات بحيز يمكن إزالة جانب أو أكثر من جوانبها بسهولة وذلك للحصول على منفذ إلى حاصل الكابينة وتكون حوض الماء المبرد عادة مصنوع من الحديد السكب المغلق بالبورس لاند أو من الفولاذ المغطى بالبورس لاند أو من الفولاذ المقاوم للصدأ المبادلات الحرارية المستعملة في مبردات المياه يكون بعضها يعمل عادة على استغلال المائع الصائغ المنخفض درجة الحرارة ليبرد خط الماء الطازج والذاهب إلى المبخر مسبقاً وذلك لتقليل من القدرة المستهلكة لتبريد الماء الطازج ودورية الحرارة للماء المبرد إلى يجب الحفاظ عليها وتكون عادة هي 10°C وتكون هنالك أجهزة تحكم بدرجة الحرارة هي التي تقوم بالتحكم في درجة حرارة المبرد.

مبرد المياه الذي يستعمل خط تغذية موصول مع مواسير الخزانات أرفع خط مياه المدنية وله خط مقترن موصول مع خطوط الصرف الصحي ، وخطوط الصرف الصحي يجب ان تكون توصيلات المواسير مخفية ويجب وضع صمام إغلاق يدوي على خط الماء الطازج وكذلك يجب تزويد المبرد بأنبوب تصريف قطرة على الاقل وفتحة خروج الماء (نتيجة التغذية) يجب ان تكون فوق فتحة التصريف (أعلى منها) وذلك للحيلولة دون حدوث الاختلاط بين الماء الطازج والماء المتصرف الناتج من سحب عرضي للماء المصرف ورجوعه ثانية إلى نظام التزويد للماء الطازج ، تستعمل نموذج منقية الماء مع التصاميم المختلفة للمبخرات المستعملة في المبردات.

درجة حرارة الماء البارد يمكن أن يتم تحديدها وتبيعتها بواسطة الشخص الذي يعمل على ضبط ومعايره وحدة التبريد ويجب استعمال مواد نظيفة لجميع ممرات الماء وتستعمل في مؤسسات الأعمال الكبيرة الضخمة وفي مبردات ماء منفصلة وهذه الطريقة الأكثر شيوعاً واستخداما في مثل هذه الأماكن ويكون لهذه المبردات وحدة تكثيف واحدة كبيرة تقوم بتزويد الماء البارد لعدة فتحات في الماء وهذه الفتحات (الحنفيات) يمكن ان تكون منشأة بأشكال مختلفة.

عادة تتكون خزانات مبردات المياه من برميل مصنوع من الفولاذ والبلاستيك تقع وحدة التكثيف خارج بيت المبرد وخزان التبريد المياه هو الجزء الوحيد المعزول من الهواء الخارجي ، تستخدم مبردات المياه في العديد من المنشآت والمباني العامة فهي توفر مياه الشرب الباردة باستمرار وعلى مدار الساعة لتفي بحاجة الانسان من المياه خاصة في فصل الصيف.

2.10 أنواع المبردات :

النوع الأول: البرادة التي توصل بخط ماء الشرب وخط الصرف يجب ان توصل بصورة صحيحة حسب قوانين السباكة والصحة المحلية ويستخدم هذا النوع مجموعة متنوعة من تصميمات المبخرات حسب المنتج.

النوع الثاني: ذو القارورة ويستخدم هذا النوع قارورة سعة (5) جوالين (22) لتر يدوية التعبئة موضوعة في وضع مقلوب بقمة الخزان وتستخدم لتخزين الماء النقي ، وماء الصرف يخزن في حاوية أسفل المبرد ويستخدم في هذا المبردات ودورات تكثيف الهواء الطبيعي وهي تستخدم عندما يكون غير المتاح توصيل الدائم لوصلات المياه والصرف يعتمد على التغذية الذاتية للمياه عن طريق القارورة.

الدائرة الميكانيكية (العامة ، الخاصة) :

تتكون مبردات المياه من ضاغط قام الغلق ذو قدرة صغيرة ومكثف يبرد الهواء بواسطة مروحة وأنبوبة شعرية مزودة بمرشح ومجمع ومبخر ، المبخر المستعمل يختلف من المبرد الى احر حسب النوع والحجم.

الدائرة الكهربية (العامة الخاصة) :

يوجد بمبردات المياه محرك كهربائي لتشغيل الضاغط ومحرك أخر لمروحة المكثف بالأضافة إلي المفاتيح والعناصر الكهربائية المطلوبة للتشغيل والحماية.

الضواغط :

تعتبر الضواغط أحد الأجزاء الهامة والضرورية في دورة التبريد حيث يشكل الضاغط القلب النابض لدورة التبريد وهو الذي يعمل على تحقيق الغاية الأساسية من عملية التبريد وهي طرد الحرارة من المكانة ذي درجة الحرارة الأقل الى

المكانة ذي درجة الحرارة الأعلى وذلك لتحقيق صيغة كل وزيوس للقانون الثاني في الديناميكا الحرارية.

الذي ينص على انه يستحيل إنشاء آلة تعمل في دورة وتقوم دون آخذ شغل من الوسط المحيط وهذا الشغل نحصل عليه من الضاغط ، تعتبر الضواغط من آلات ضخ الوسائط التبريد في الآلات التبريد الميكانيكية بالأنضغاط حيث ان الضاغط يقوم برفع ضغط وسيط التبريد وبالتالي رفع درجة حرارته لكي تصبح أعلي من درجة حرارة الحيز المراد طرد الحرارة اليه.

لهذه الغاية ونظراً لتعدد السعات المطلوبة في الضواغط في الآلات التبريد المختلفة فقد تم تصنيع أنواع مختلفة من الضواغط لتفي الضرورية وهذه الأنواع تختلف في مبدأ عملها ، وكذلك طرق تشغيلها وشغل الضواغط اما بمحركات احتراق داخلي أو بأستعمال محركات كهربية.

2 .11 أنواع الضواغط المستخدمة في التبريد:

1/ ضواغط دورانية.

2/ ضواغط ترديه.

3/ ضواغط طرد مركزي.

تعتبر الضواغط الترددية هي اكثر الضواغط انتشاراً واستعمالا بينما يقتصر استخدام الضواغط الدوارة على الاستعمالات التي تحتاج ال قدرات مقدارها جزء من الحصان وقد اصبح استعمال هذه الضواغط تطرد المركزية فتستخدم في الاستعمالات الكبيرة والتي سعة التبريد لا تقل فيها عن (50) طن تبريدي أو أكثر، ان استعمال الضاغط الطرد المركزي اخذ بالنمو بشكل كبير وسريع .

ونورد فيما يلي شرح مفصل عن هذه الأنواع :

❖ **الضواغط الدورانية :**

وهنالك نوعين أساسين من الضواغط الدورانية المستخدمة وهما :

1/ الضاغط ذو القرص الدوار.

2/ الضاغط ذو الصفائح (الريش) المنزلقة.

❖ **الضاغط ذو القرص الدوار:**

يتركب من قرص اسطواني من الصلب يدور على عمود لا مركزي ومحور لا ينطبق عليه محور الاسطوانة وبالتالي يصبح القرص الاسطواني والمركب على خلوص ويوجد في حائط الاسطوانة شق مركب به ريشة يضغط عليها زنبرك بحيث تضغط الريشة بقوة على القرص الاسطواني في جميع الأوقات كما في الشكل (5) وتتحرك الريشة في الشق للداخل والخارج تبعاً لحركة دوران القرص حول جانب الاسطوانة ويتم قفل طرفي الاسطوانة بواسطة راس اسطواني او بواسطة لوحي نهاية ، ويحمل عمود الكامات على اللوحين.

وطول القرص أو الريش و يساوي طول الاسطوانة فيما عدا خلوص الحركة فيما بينهما ويوجد على جانبي الشق فتحتي السحب والطرد (التصريف) وتكون فتحة التصريف مزودة بصمام عدم رجوع.

❖ **ضاغط ذو الريشة المنزلقة:**

يتركب الضاغط ذو الريشة من العنصر الدوار ، حيث يركب عمود العضو الدوار داخل اسطوانة من الصلب بحيث لا ينطبق محوره مع محور الاسطوانة وبحيث يمس العضو الدوار جانب الاسطوانة عند خط واحد ويركب علي العنصر الدوار سلسلة من الريش أو الشفرات أو على مسافات متساوية حول محيط العضو الدوار داخل شقوق به ولا يفصل بين العضو الدوار والاسطوانة وسطح الاسطوانة عند خط التلامس إلا طبقة غشاء من الزيت وأقصى خلوص بين

العضو الدوار والاسطوانة يكون في الجانب المقابل تماماً لخط التماس وعند نهايتي الاسطوانة يوجد رأساً أو لوحاً نهاية مركبات لأحكام سد الاسطوانة ، ويحمل عمود العنصر الدوار في بعض الأحيان تزود الريش بزنيك للحصول على أحكام جيد بين نهايات الريش وجانب الاسطوانة.

❖ **الضاغط الترددي:**

يتألف الضاغط الترددي من مكابس تتحرك صعوداً ونزولاً داخل اسطوانات مزودة بصمامات للسحب بحيث تتولد حركة مستمرة لضخ بخار وسيط التبريد وزيادة ضغطه وقد يحتوي الضاغط على مكبس واحد أو عدد منها قد يصل الي (16) أو أكثر مرتبة على شكل حرف (v) او الحرف (ص) أو ربما باستقامة واحدة كما الحال في مطلع تطور صناعتها ، وجميع المكابس أحادية الشرط.

تنقسم الضواغط الترددية حسب طريقة ربطها بمحركها وضاغطها الى ما يلي :

1/ الضواغط محكمة الاغلاق:

وهي الضواغط التي يكن فيها المحرك والضاغط مبينات في بيت واحد وهو يرتبط المحرك وعمود الموقف مباشرة وهذا النوع يتطلب خدمة مصنع لصيانته.

2/ الضواغط نصف المغلقة:

وهي الضواغط التي يكون فيها المحرك مغلقاً أما الضاغط فيكون مفتوحاً ويرتبط المحرك مع عمود المرفق مباشرة أيضاً إلا ان اجزاء الضاغط موصولة مع بعضها بالبراغي وبالتالي يمكن صيانتها بمكان العمل.

3/ الضواغط المفتوحة:

وهي الضواغط التي تتطلب قيادة خارجية ويمكن ان تكون هذه القيادة مباشرة خلال وصلة أو سير منقاد ، ونوع القيادة أما ان يكون محرك كهربائي أو محرك

احتـــراق داخلـــي أو تـــوربين بخـــاري ، وهـــذا النـــوع مـــن الضـــواغط يمكـــن صـــيانته فـــي مكان العمل. وفـــي النـــوعين محكـــم الاغـــلاق ونصـــف المغلـــق فـــإن بخـــار وســـيط التبريـــد يمر على ملفات المحرك ويبردها.

2 .12 المكثفات :

هـــي مبـــادلات حراريـــة يـــتم بمســـاعدتها طـــرد الحـــرارة الـــى الوســـط الخـــارجي وتبعـــاً للوسط المبرد تنقسم المكثفات الى الاتي:

- المكثفات المائية : وفيها يعمل الماء كوسط مبرد.
- المكثفات التبخيرية : وفيها يعمل مزيج من الماء والهواء كوسط مبرد.
- المكثفات الهوائية : وفيهـــا يقـــوم الهـــواء بـــدور الوســـط المبـــرد فـــي عمليـــة التبريـــد وهنا يكون للمكثف دور مزدوج بحيث يعمل كمكثف وكمبخر في آن واحد.

1. 12 . 2 المكثفات المائية :

تنقسم هذه المكثفات بدورها الى ثلاثة اقسام:

1/ مكثفات التيار.

2/ مكثفات الغمد.

3/ مكثفات تبخيرية.

❖ المكثفات تشكل جزءاً رئيسياً من الأربعة اجزاء الرئيسية في أي دورة تبريد وهذه الأربعة أجواء هي (الضاغط ، المبخر ، صمام الانتشار او ما يقوم مقامه ، المكثف).

وفي المكثف يتخلص سائل التبريد من الحرارة التي امتصها المبرد وكذلك الحرارة الناتجة من تشغيل الضاغط وطرد هذه الحرارة للوسط المحيط فإذا كان الوسط المحيط هو الهواء سمي المكثف هوائياً إذا كان التبريد بالمكثف وبالماء سمي المكثف بالمكثف التبخيري.

2. 12 . 2 أنواع المكثفات :

طبقا للتقسيم الأول يمكن تقسيم المكثفات من ناحية الشكل الى الأنواع الآتية :

1/ مكثف ذو الملف المغمور.

2/ المكثف ذو الملف المعرض للجو وينقسم الى : العادي والتدفق العاكس.

3/ المكثف ذو الانابيب المزدوجة.

4/ المكثف ذو الملفات العديدة.

5/ المكثف ذو الاسطوانة والانابيب وينقسم الى : عمودي وأفقي.

6/ المكثف ذو الاسطوانة والملفات.

2. 12 . 3 المكثف ذو الملف المغمور:

هو من أقدم المكثفات وكان عبارة عن ملف موضوع في خزان ويدخل في الملف غاز الامونيا ويتدفق للأسفل حتى يخرج السائل من النهاية السفلية للملف بينما يدخل من اسفل الخزان ويخرج ماء التكثيف عند وصله بأعلى الخزان. وهذا المكثف رخيص لكن أقصي معدل انتقال حراري له كان فقط 30 و.ب.ج قدم2/ق/س وذلك بسبب الماء الراكد حوله .

2. 12 . 4 المكثفات الجوية :

المستخدم في وحدات التبريد بالأمونيا (النوع العادي) دخول سائل التبريد من أعلى.

وهذه المكثفات عبارة عن مجموعة من صفوف رأسية لمواسير أفقية كل صف به عدد يتراوح من (8-20) ماسورة والنهايات متصلة بمنحنيات مشكلة اتصال كامل للملف ويدخل سائل التبريد الغازي من اعلى ويرش الماء من اعلي المكثف ويجمع ماء التكثيف أسفل الحوض.

شكل: رقم (9-2) المكثفات الجوية

2 . 12 .5 المكثفات الهوائية ذات التدفق المتضاد:

يدخل الماء البارد من اعلى في المكثف الهوائي العادي ويلامس عند القمة اسخن كمية من غاو سائل التبريد لأعلى المواسير بينما اسخن مياه وهي التي تكون في قاع المكثف الجوي العادي تلامس ابرد كمية من سائل التبريد ولعلاج هذا الوضع صممت المكثفات الهوائية ذات التدفق المتضاد.

2 . 12 .6 المكثفات الهوائية:

تسمى بالمكثفات الهوائية نظراً لأن الوسط المحيط بملفات المكثف الهواء أي انه يتم تخليص سائل التبريد من الحرارة التي أخذها من شغل الضاغط والحمل الحراري داخل الفريزر عن طريق الهواء ويتم ذلك بطرق طبيعية عن طريق العمل أو بطرق جبرية.

2 . 12 .7 المكثفات المائية:

تتميز المكثفات المائية بالآتي :

1/ استخدامها في وحدات أكبر.

2/ انتقال حراري كبير.

3/ الحجم الصغير

4/ سعة التكثيف أكبر.

5/ يستخدم معها ضاغط منظم مياه.

2 . 12 .8 المكثف المائي التبخيري:

يفضل هذا النوع من المكثفات حيث تكون هنالك ضرورة لحفظ الماء وخاصة إذا كانت كمية الماء اللازمة لتكثيف سائل التبريد كبيرة مثلما يحدث في وحدات التبريد الكبيرة فيستخدم هذا النوع من المكثفات لإعادة تبريد الماء وهو الأخر وجعله يدور بدورات متتالية فمدخل ملفات المكثف متصل بماسورة الطرد من الضاغط ومخرج ملفات المكثف ترتبط بالخزان.

2 . 12 .9 طريقة عمل المكثف :

سمي هذا المكثف تبخيري لأن الهواء في حركة اندفاعه الأعلي يوفر جوء من الماء وهذا الجزء يأخذ الحرارة الكامنة للتبخير كمن الماء المحيط إذن يساعد الهواء والماء على عملية التكثيف ولذا سمي المكثف بالمكثف التبخيري ، ويمكن تلخيص عمله في الاتي:

1/ تدفع طلمبة الماء المجتمع بالحوض الى الرشاشات بأعلى المكثف.

2/ ينزل الماء على ملفات المكثف ويأخذ الحرارة وينزل الى اسفل.

3/ يقفل الماء النازل الهواء المندفع لأعلى بواسطة مراوح الشفط.

4/ يتبخر جزء من الماء ويأخذ الحرارة الكامنة من التبخير من الماء المحيط.

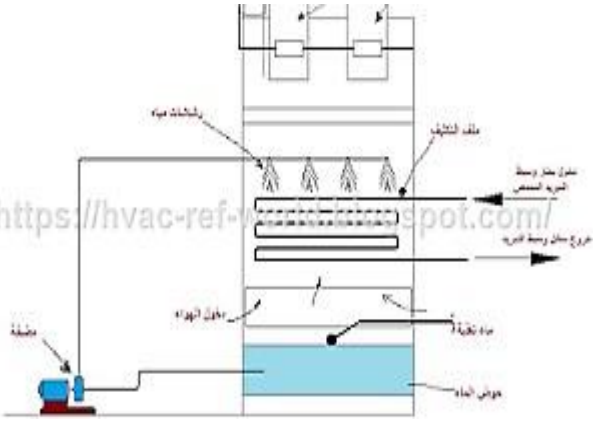
يجب مراعاة الاتي :

1/ أن تترك مسافات فراغ كفاية حول هذا المكثف علي الأقل ضعف مساحة الحيز الذي تشغله دورة التبريد.

2/ أن نضمن حرية تحرك الهواء حوله.

3/ مراعاة اختيار مكان المكثف حيث يكون في مواجهة اتجاه الرياح.

4/ يجـــب الاحتيـــاط حتـــى لايعـــود الهـــواء المطـــرود مـــن المكثـــف الـــى داخـــل المكثـــف ثانية فيقلل من سعة التبريد



شكل رقم (10-2) المكثف المائي التبخيري

10. 12 . 2 سعة المكثفات :

تحسب سعة المكثفات عموماً من المعادلة الآتية :

$$W * s * dt * 60 = 12000 * N$$

حيث :

W = وزن الماء المكثف في الدقيقة.

S = الحرارة النوعية للمادة الشغالة (وسيط التبريد ماء ، هواء)

Dt = هي الفرق أو الارتفاع في درجة الحرارة بالدرجات الفهرنهيتية.

N = عدد أطنان التبريد أو السعة الناتجة.

وعادة ما يكون أقصى قيمة dt (الفرق بين درجتي الحرارة) في حدود 30 فهرنهيت

إذن W بالتقريـــب تســـاوي 7 رطل/دقيقـــة/طن تبريـــد أو بعبـــارة أخـــرى حـــوالي 1152/جالون/يوم طن تبريد فهو متوسط جيد في حساب التصميم .

13 . 2 المبخرات:

إن أي سطح للتبادل الحراري يتم بداخله تبخير أو وسيط للتبريد الغرض منه إزالة الحرارة من حيز مبخر يسمى المبخر نظراً الى المتطلبات المختلفة والتطبيقات العديد للمبخرات فإنها تصنع لتنوع واسع من حيث طراز التشغيل والاحجام والتصاميم وعملية تصنيفها حسب :

1/ طراز الانشاء.

2/ شروط التشغيل.

3/ طريقة التجكم بوسيط التبريد.

4/ طريقة تدوير الهواء أو السائل.

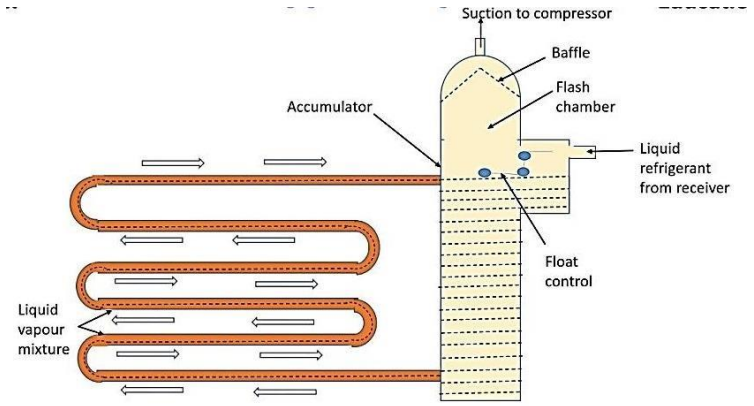
5/ الاستعمال.

1. 13 . 2 أنواع المبخرات:

تصنف المبخرات بصورة عامة ضمن مجموعتين :

1/ المبخرات المغمورة :

ففي النوع الأول يبقى المبخر مملوء دوماً بسائل التبريد ونحافظ على منسوب السائل فيه بواسطة صمام خاص ويتم سحب البخار المتشكل نتيجة غليان السائل التبريد بواسطة الضاغط ونتيجة لذلك وتكون السطح الداخلي للمبخر هيكل كلياً.

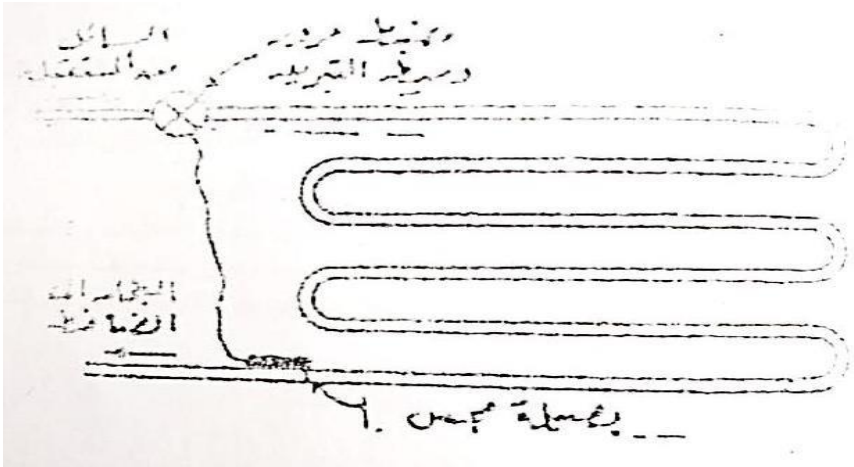


شكل رقم (2-11) مبخر مغمور

ممـــا يـــؤدي للحصـــول علـــى معـــدلات عاليـــة لإنتقـــال الحـــرارة ولكـــن مـــن عيوبهـــا انهـــا تحتاج ال مبخرات كبية الحجم.

2/ المبخرات ذات التمدد الجاف :

اما في النـــوع الثـــاني مـــن المبخـــرات تـــتم التغذيـــة بواســـطة صـــمام بحيـــث تتبخـــر كميـــة السائل بكاملها عندما تصـــل لنهايـــة ملـــف التبخيـــر ويـــتم الـــتحكم فـــي معـــدل تـــدفق الســـائل في صمام التمرد بواسطة بصيلة جس.



شكل رقم (2-12) المبخرات ذات التمدد الجاف

2. 13 . 2 أنواع المبخرات حسب طريقة إنشائها:

يوجد ثلاثة طرق أساسية لإنشاء المبخرات هي :

1/ المبخرات ذات الأنابيب العارية.

2/ المبخرات ذات السطوح المستوية.

3/ المبخرات ذات الأنابيب المزعنفة.

المبخرات نوع الأنابيب العارية ونع السطح اللوحي تنصف في بعض الاحيان بعضها مع بعض كمبخرات من نوع السطح الأساسي كله ، لكن من هذين النوعين يكون غالباً في تلامس مع وسيط التبريد المبخر بداخله ، أما في حالة المبخر المزعنف فتكون نفسها فلا تكون مملوءة بوسيط التبريد.

المبخرات ذات السطح الأساسي كم كلا النوعين الأنابيب العارية والسطح اللوحي تستخدم في معظم الأحيان في الاستخدامات التي تحفظ بدرجة حرارة الحيز تحت (1°C) وحيث لايمكن مباشرة منع تكون وتراكم الصقيع على سطح المبخر فضلا عن ذلك فإن معظم المبخرات ذات السطح الأساسي خصوصاً نوع السطح الألواح تكون سهلة التنظيف ويمكن في الحال إزالة الصقيع منها يدوياً بواسطة خف أو كشط تراكم الصقيع ويمكن انجاز ذلك بدون تقطيع عملية التبريد وتعريض جودة المنتج المبرد للتلف. وفي النوع الثالث تشكل الزعانف سطوحاً ثانوية لإنتقال الحرارة ووظيفتها زيادة سطح التبادل الحراري.

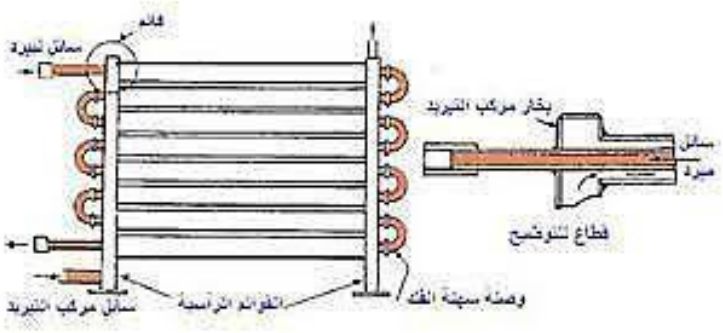
2. 13 . 2 . 1 المبخرات ذات الأنابيب العارية:

تصنع هذه المبخرات من أنابيب فولاذية أو نحاسية وتستعمل للمبخرات الكبيرة وللمبخرات التي تستعمل الامونيا كوسيط تبريد في حين ان الانابيب النحاسية تستخدم في المبخرات الصغيرة التي تستعمل مختلف وسائل التبريد خلاف

الأمونيا. الملفات من الأنابيب العارية تكون متاحة في عدد من الأحجام والأشكال والتصاميم وهي تكون عادة مصنعة للإستعمال الفردي والأشكال الشائعة للملفات من الأنابيب العارية هي المتعدية والمسطحة والبيضاوية وتستعمل الملفات من الانابيب العارية الحلزونية كثيراً للتبريد الفجائي للسائل.

2. 2 . 13 . 2 المبخرات ذات السطوح المستوية على شكل الألواح:

تستعمل بكثرة في الثلاجات والمجمدات المنزلية وتتميز بأنها سهلة التنظيف واقتصادية في الصنع ويمكن ان يصنع المبخر بكامله على شكل لوحين معدنيين (مزودين بتجاديف مصنوعة بالكبس) وملحومين مع بعضهما بحيث تشكل ممرات لأنسياب وسيط التبريد بين اللوحين كما في الشكل.



شكل رقم (13-2) المبخر ذو السطوح المستوى

يمكن استخدام هذا النوع من المبخرات بشكل منفرد أو على شكل صفوف من الألواح المتوازية ويوجد أنواع من المبخرات المستوية على شكل الواح مصنوعة من أنابيب مشكلة ومركبة بين لوحين ملحومين ببعضهما البعض لتحقيق التلامس

الجيد وتركب المبخرات هذه بشكل منفرد أو في صفوف وقد تركب في شكل رفوف في غرف التجميد.

2 . 13 . 2 .3 المبخرات ذات الأنابيب المزودة بزعانف :

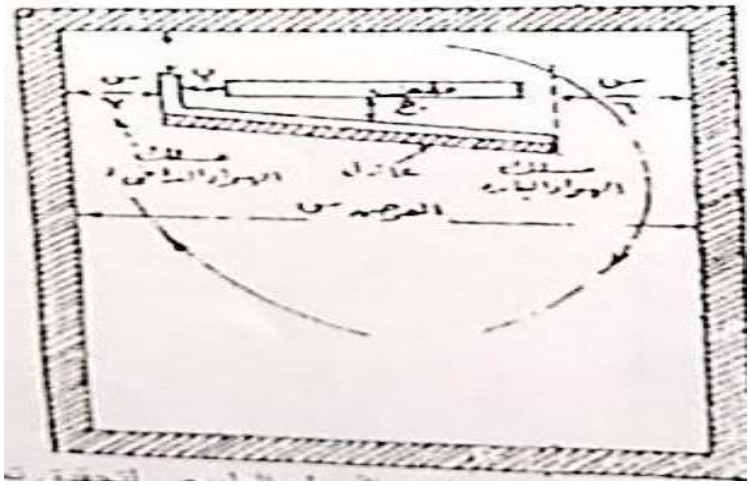
تقوم الزعانف بزيادة سطح التبادل الحراري لذلك ينبغي وصلها بطريقة تحقق التلامس الحراري جيد بينها وبين الأنبوب. أن ابعاد الزعانف عددها يتوقف على قطر الأنبوب ونوع الاستخدام الذي من أجله يصمم المبخر ويتراوح عدد الزعانف من زعنفة واحدة الى (14) زعنفة في البوصة الواحدة في المبخرات المستخدمة عند درجات حرارة المنخفضة. يجب ان يكون تباعد الشفرات اكبر منه في المبخرات المستعملة في درجات حرارة أعلى وذلك نظراً الى ان تراكم الصقيع على ملفات التبخير. قد تبين ان أفضل استعمال لهذا النوع من المبخرات هو في أجهزة تكييف الهواء حيث تبقى درجة الحرارة فوق (°C) بسبب الزعانف يكون الملفات المزعنفة مساحة سطح لكل وحدة طول وعرض أكبر من المبخرات نزع السطح الأساسي ولذا يمكن بنائها أكثر دمجاً وذات حجم أصغر ، عموماً الملف المزعنف يشغل حيز أصغر من مبخر نوع الأنابيب العارية أو السطوح المستوية بنفس السعة وهذا يعطي وفراً كبيراً في الحيز ويجعل الملفات المزعنفة الأكثر ملائمة للأستخدام مع المراوح كوحدات تعمل بالحمل القسري.

2 . 14 أنواع المبخرات حسب طبيعة انتقال الحرارة:

1/ المبخرات ذات الحمل الطبيعي: تستعمل المبخرات ذات الحمل الطبيعي في الحالات التي ترغب فيها ان تكون سرعة الهواء منخفضة وان يحدث نزع للماء (التجفيف) للمنتج المحفوظ.

أكثر استعمالاتها هي في : الثلاجات المنزلية ، صناديق العرض المبردة ، مستودعات التبريد الكبيرة.

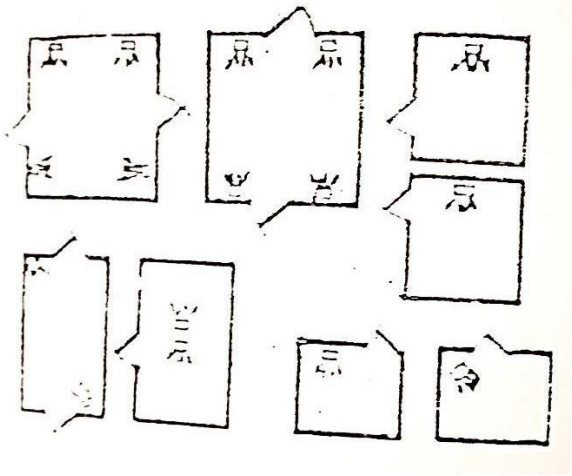
معدل تدوير الهواء فوق ملفات التبريد ذات الحمل الطبيعي يتبع فرق درجة الحرارة بين المبخر والحيز المبرد ويزداد معدل التدوير كلما كان هنالك الفرق كبير. تتأثر حركة الهواء بشكل المبخر وابعاده وبوضعه كذلك بوجود حواجز توجيه بالإضافة الى توزيع البضاعة ووضعها في مستودع التبريد. قد تبين إن ملفات التبريد ذات الصف الواحد أو الصفين أ المركبة على امتداد الغرفة والتي تعطي جزءاً كبيراً من مسافة السقف تعطي أفضل النتائج



شكل رقم (14-2) المبخرات ذات الحمل الطبيعي

1. 14 . 2 المبخرات ذات الحمل ألقسري:

يطلق اسم دورات المبرد أو الملفات ذات المروحة على المبخرات ذات الحمل ألقسري وتتألف من أنابيب أو ملفات ذات الشفرات أو زعانف مركبة ضمن غلاف معدني ومزودة بمروحة واحدة أو أكثر لتأمين حركة وتدوير الهواء.



شكل رقم (2.15) المبخرات ذات الحمل القسري

2 . 15 ومائع التبريد :

إن مائع التبريد هو المادة التي تعمل كعامل تبريد على المائع العامل في الدورة وذلك بامتصاص الحرارة من جسم آخر أو مادة آخري. ففي دورة انضغاط البخار نطلب اسم مائع التبريد على المائع العامل في الدورة وهو دورياً يتبخر عند امتصاصه للحرارة في المبخر وقد يتكاثف عند طرده للحرارة في المكثف حتى يكون المائع مناسباً لاستخدامه كوسيط تبريد في دورة الضاغط ، البخار ينبغي إن تكون له بعض الصفات الفيزيائية والكيميائية والثيرموديناميكية بحيث يكون استعماله مأمون واقتصادي.

2 . 16 خواص الأمان :

إن خواص الأمان تأتي في المرتبة الأولي عند اختيار وسيط التبريد ولكي يكون المائع مناسباً ينبغي إن يكون:

1/ خاملاً كيميائياً بحيث يكون غير قابل للاشتعال وغير قابل للانفجار وغير سام سواء كان نقياً أو مختلط بالهواء مهما كانت نسبة اختلاطه.

2/ غير قابل للتفاعل مع زيوت التويت أو إي مادة من المائع المستعملة في الدورة.

3/ لا يتأثر بالرطوبة.

4/ لا يلوث المواد المخزنة عند تسربه من الدورة.

❖ **السمية :**

يسمى المائع بأنه سام إذا سبب الاختناق عندما تكون نسبة تركيزه كبيرة بحيث لا يتوفر الأوكسجين الكافي لاستمرار الحياة.

جدول يوضح تصنيف وموائع التبريد في ست مجموعات حسب درجة سميته :

رقم المجموعة	وسيط التبريد	درجة التبريد ألحجمي في الهواء %	مدة التأثير	نوع التأثير
1	ثاني أكسيد الكبريت	0.5 - 1%	5 دقائق	مميت
2	الامونيا برومي المثيل	0.5 – 1 %	60 دقيقة	مميت
3	كلوروفورمرابع كلوريد الكربون	2 – 2.5%	60 دقيقة	مميت أو أضرار مستديمة
4	كلور الميثيل كلور الإيثيل	2 – 2.5%	120 دقيقة	
5	فريون 21 فريون 113	أقل سمية من المجموعة 4	أكثر سمية من المجموعة 5	
6	ثاني اكسيد الكربون فريون 11 فريون 113	0 – 30 %	100 دقيقة	تأثير ضار

17 . 2 الصفات الفيزيائية لوسيط التبريد :

أهم هذه الصفات هي:

1/ الحرارة الكامنة للتبخر :

يفضل أن تكون الحرارة الكامنة للتبخر عالية حتى لا يقل وزن وسيط التبريد اللازم.

2/ الحجم النوعي للبخار :

يفضل ان يكن الحجم النوعي لوسيط التبريد منخفضاً ويؤدي ذلك الى إنقاص استهلاك القدرة وتصغير حجم الإزاحة في الضاغط وبالتالي تصغير أبعاد الأجهزة المستعملة.

3/ الحرارة النوعية :

يفضل ان تكون الحرارة النوعية للسائل منخفضة وان تكون الحرارة النوعية للبخار مرتفعة يسبب ذلك زيادة تأثير التبريد لكل كيلو جرام من وسيط التبريد.

4/ نسبة الانضغاط إذا كانت نتيجة الى تفعيل اختيار وسيط التبريد الذي يعطي أقل نسبة انضغاط إذا نتيجة عن ذلك انخفاض القدرة اللازمة لتحريك الضاغط.

18 . 2 أنواع وصفات التبريد:

1/ الأمونيا :

هو غازلا لون له ذو رائحة مخرشة يسبب الدموع يمكن تحويله بسهولة إلى مائع للضغط الجوي(7) تحت درجة حرارة (13°C) وينقل السائل بواسطة اسطوانات فولاذية.

ان التأثير التبريدي لكا من (1kg) من الأمونيا أعلى من التأثير التبريدي وسيط تبريد آخر ، كذلك فإن الحجم النوعي له منخفض وذلك يسمح له بالحصول على استطاعة عالية للتبريد من ضاغط صغير الأبعاد نسبياً:

درجة الغليان تحت الضغط الجوي النظامي هي (-33°C)

ظروف التشغيل الطبيعية للمبخر هي (15°C)

المكثف (30°C)

والضغوط المقابلة لهذه الظروف (1.28kg/cm2) مبخر

والضغوط المقابلة لهذه الظروف (10.9kg/cm2) مكثف

2/ ثاني اكسيد الكبريت :

اوكسيد الكبريت سام جداً غير قابل للأشتعال وغير قابل للأنفجار استخدم بكثرة بين الأعوام (1922-1932) في المبردات المنزلية ولم اجده يستخدم اليوم إذ استبدل بكلوريد الميثيل ثم أنواع الفريون.

درجة حرارة غليانه تحت الضغط الجوي (-10°C) وهو لايمتزج بالزيت.

3/ كلوريد الميثيل :

هو أحد مشتقات سلسلة الميثانر وصفاته الجيدة سمحت باستعماله في أجهزة التبريد وهي:

- قابليته للانفجار إذا كانت نسبة اختلاطه بالهواء (8.1 – 17.2%)
- إذابته للمطاط الطبيعي والصناعي .

4/ كلوريد الميثين :

هو كذلك أحد مشتقات الميثان واستخدم في الماضي مع الضواغط المستخدمة في أجهزة تكييف الهواء ذات الاستطاعات الكبيرة وهو غير سام وغير قابل للاستعمال ولا يهاجم المعادن وخاصية امتزاجه بالزيت ليست أهمية كبيرة نظراً لاستعماله في الضواغط العنيفة.

وسائط التبريد الهالوجينية:

تطلق اسم الفريون على مجموعة من وسائط التبريد المشتقة من الميثان والإيثان والتي تدخل في تركيبها ذرات مختلفة من الهالوجينات(الفلور ، الكلور ، الهيدروجين) .

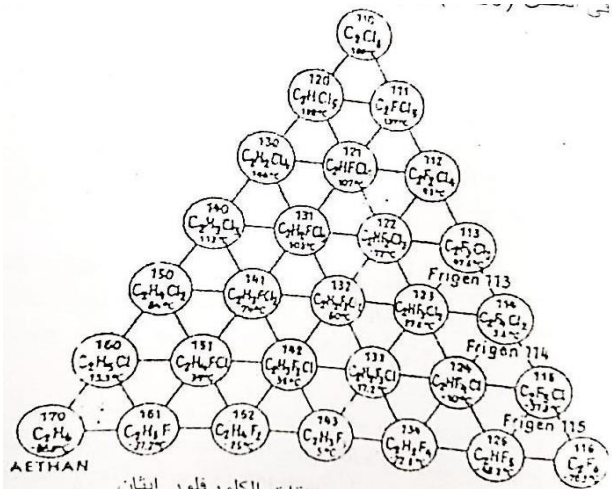
19 . 2 أنواع الفريون المشتقة من الميثان :

تشتق وسائط التبريد هذه بدأً من الميثان حتى تستبدل ذرة الهيدروجين تدريجياً بذرة الكلور نحصل بالتالي على :

- كلوريد الميثيل (CH_3Cl) نقطة غليانه (-23.8°C)
- كلور الميثين (CH_2CL_2) ونقطة غليانه (40.6°C)
- كلوروفورم ($CH\ Cl_3$) ونقطة غليانه (61.1°C)
- رابع كلور الكربون (CCl_4) ونقطة غليانه (76.6°C)

2 . 20 أنواع الفريون المشتقة من الإيثان :

تشتق هذه المركبات من الإيثان بطريقة مشابهة للمركبات المشتقة من الميثان يمكن الحصول على 24 مركب كما في الشكل.



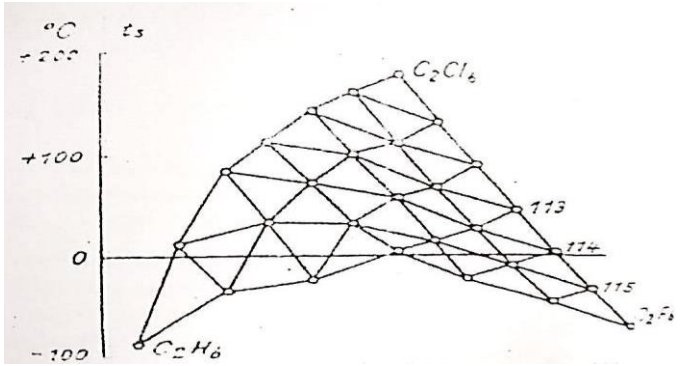
شكل رقم (2-16) أنواع الفريون المشتقة من الإيثان

2 . 21 المركبات المستعملة في التبريد:

1/ ثالث كلوريد الإيثان وثالث كلور الإيثان نقطة غليانه (47.57°C)

2/ رابع كلور ثاني كلور الإيثان نقطة غليانه (3.55°C)

3/ خامس فلوريد وحيد كلور الإيثان ونقطة غليانه (-37.8°C)



شكل رقم (2-17) درجات الحرارة الكامنة لمشتقات الكلورفلور إيثان

❖ **وسيط التبريد (Froen 11) :**

يستخدم وسيط التبريد (R – 11) في أجهزة تكييف هواء مباني المكاتب والمصانع والمسارح وهو غير قابل للإشتعال وغير سام يذيب المطاط الطبيعي بشكل خاص للأستخدام مع الضواغط العنيفة درجة حرارة غليانه عند الضغط الجوي 23.7°C.

❖ **وسيط التبريد (Froen 12) :**

من أكثر وسائط التبريد استخداماً في الوقت الحالي وهو مناسب للأستخدام في جميع أنواع الضواغط الترددية العنيفة.

ان التأثير التبريدي لكل واحد كيلو من الفريون (R – 12) هو أصغر نسبياً من التأثير التبريدي لوسائط التبريد الأخرى وهذا لا يكون شيئا في حالة مجموعات التبريد الصغيرة.

❖ **وسيط التبريد (Froen 13) :**

يستخدم وسيط التبريد هذا للإستعمالات التي تحتاج الى درجات حرارة منخفضة جداً وكذلك يستخدم في المرحلة المنخفضة لمجموعات الضواغط الموصلة على التسلسل والمؤلفة من مرحلتين أو ثلاثة مراحل.

ودرجة حرارة غليان (R – 13) تحت الضغط الجوي (-18°C) ويمكن استخدام هذا الوسيط في مختلف أنواع الضواغط هو وسيط تبريد ولا يمتزج بالزيت.

وسيط التبريد (Froen 22) استعمل وسيط التبريد هذا في البدء للحصول على درجات حرارة منخفضة ثم استخدم بكثرة في مجموعات تكثيف الهواء وفي المجمدات المنزلية يمتزج بالزيت في الضاغط والمكثف الإ انه ينفصل عنه في المبخر يمتاز بصغر حجم الإزاحة للضاغط وهي تصل الى (60%) مع حجم

الإزاحة اللازم في حالة استعمال الـ(R – 12) كذلك تكون أقطار الأنابيب المستعملة و لنقل هذا الوسيط أصغر وهو وسيط غير سام وتام الأمان ومستقر التركيب. ان قابلية الفريون (R – 22) لامتصاص الرطوبة أكبر من قابلية الفريون (R – 12) لذلك فإن مجموعات التبريد التي تستعمل (R – 22) وهي أقل تعرضاً لمشكلات تجمد الماء بها بصورة عامة أكثر أنواع الفريون استخداماً هما (R – 12) و (R – 22) ونظراً لإنخفاض درجة حرارة الشرب (R – 12) وقابليته الممتازة للإمتزاج بالزيت تحت مختلف الشروط فإنه أفضل في الاستعمال في الوحدات الصغيرة في حين ان (R – 22) هو الأكثر استعمالا في الوحدات الكبيرة وفي الاجهزة المستخدمة للحصول على درجات حرارة منخفضة.

❖ وسيط التبريد (Froen 113):

يستخدم هذا الوسيط بشكل رئيسي في تجهيزات تكييف الهواء ويستعمل أيضاً لتبريد الماء للعمليات الصناعية وتبريد لمحلول الملحي حتى (-18°C) وهو من وسائط التبريد الآمنة. ان انخفاض ضغط التشغيل من جهة كبر حجم الإزاحة من جهة أخرى تحتم استعمال هذا الوسيط في الضواغط العنيفة فقط.

❖ وسيط التبريد (Froen 114) :

يستخدم هذا الوسيط في الضواغط العنيفة للتجهيزات تكييف الهواء الضخمة (المتاجر ، المصانع ، الفنادق) وكذلك لتبريد المحلول الملحي حتى (-55°C) ويستعمل في بعض العمليات الصناعية ، يشابه في صفاته الفريون (R – 22) لا سيما فيما يتعلق بقابليته للإمتزاج بالزيت له صفات آمنة ممتازة.

22 . 2 الهيدروكربونات البسيطة :

يمكن استخدام بغض أنواع الهيدروكربونات البسيطة مثل الإيثان والميثان والبوتان والبروبان والإيثلين في وحدات التبريد.

❖ وسيط التبريد (R – 500) :

وهو مزيج من الفريون (R – 12) (73.5%) وزناً والفريون (R – 152) (26.6%) وزناً ومميزاته انه يستعمل بدلاً من الفريون (R – 12) فان سعة الضاغط تزداد بحوالي (18%) وبذلك يمكن استخدام الضاغط الموصول مباشرة مع المحرك على تيار متناوب (50) هيرتز بدلا من (60) هيرتز بدون تغيير في استطاعة الضاغط.

❖ وسائط التبريد الثانوية :

أهم وسائط التبريد الثانوية هي :

- الماء.
- محلول الماء وكلور الكالسيوم.
- محلول الماء وكلور الصوديوم.
- غليكولات الإيثلين والبروبليين.
- الميثانول.

يستعمل الماء العادي في تجهيزات تكييف الهواء المركزية وفي اجهزة التبريد الصناعية وهو وسيط تبريد ثانوي ممتاز **للأسباب الآتية :**

1/ له حرارة نوعية مرتفعة.

2/ له عامل توصيل حرارة عالي.

3/ له حمل حراري جيد.

4/ رخيص ولا يسبب التآكل.

❖ **صمامات التحكم :**

تستخدم هذه الصمامات عند مدخل المبخر لتخفيف ضغط سائل التبريد للتحكم في معدل سريانه خلال المبخر ، وتوجد نوعيات مختلفة للضغط والتحكم في بعض المتغيرات الأخرى المؤثرة في دوائر التبريد وسوف نقوم بشرح أهم أنواع صمامات التمدد الحراري.

1/ صمامات التمدد اليدوي :

وتعتبر ابسط أنواع الصمامات وتستخدم لخفض الضغط لتغيير معدل سريان سائل وسيط التبريد وليس بها أير مستشعر وتستخدم مع أحمال التبريد شبه الثابتة مثل مصانع إنتاج الثلج.

2/ صمام التمدد الثيرموستاتي :

وظيفته الاساسية خفض ضغط سائل وسيط التبريد الى ضغط المبخر كما يقوم بوظيفته التحكم في معدل السريان لوسيط التبريد ليتناسب مع تغييرات الحمل الحراري ويعمل هذه الصمام على الحفاظ علي درجة تحميص ثابتة عن مخرج المبرد مما يضمن التحول الكامل لسائل التبريد الى الحالة الغازية الكاملة. بهذه الصمامات سعات مختلفة تعتمد على نوع وسيط التبريد والأحمال الحرارية للمبخرات ودرجات الحرارة في كل من مبخر والمكثف وفرق الضغط الحقيقي قبل وبعد الصمام ، وينقسم هذا الصمام الى نوعين : نوع التعادل الداخلي ويستخدم في المبخرات ذات القدرة الصغيرة والتي يكون فاقد الضغط خلالها صغير ، ونوع التعادل الخارجي في المبخرات الأخرى.

3/ صمامات التمدد الألكتروني :

يعمل هذا الصمام عن طريق محبسين أحدهما لدرجة الحرارة والآخر للضغط ، وعن طريق جهاز الكتروني يمكن التحكم بدقة في درجة تحميص وسيط التبريد عن مخرج المبخر ، وبالتالي يشابه عمله صمام التمدد الاسناتي.

4/ صمام الضغط الثابت :

وظيفته الاساسية خفض ضغط السائل وسيط التبريد ال ضعف المبخر ويعمل هذا الصمام على الحفاظ على ضغط شبه ثابت داخل المبخر ، ومع ضواغط تغيير الحمل الحراري على المبخر والتغيير الذي يطرأ نتيجة لذلك في ضغوط المبخر فإن هذا الصمام يعمل لإعادة التوازن بضغط المبخر بالسماح بمرور كميات أكبر من سائل التبريد مستجيباً لذلك لتغييرات الحمل الحراري.

5/ صمام العوامة :

وظيفة صمام العوامة خفض درجة ضغط السائل وسيط التبريد الى ضغط المبخر وهو مزود بعوامة تتأثر بمستوى السائل بمعدلات تتناسب مع الحمل الحراري للمبخر الذي يعمل عن طريق الغمس والمتصل بالإناء المذكور.

❖ **الأنبوبة الشعرية :**

الوظيفة الأساسية لها هي خفض ضغط سائل وسيط التبريد ضغط المبخر كما أنها تعمل على تغيير معدل مرور سائل وسيط التبريد بعرقلته في حالة زيادة الغاز داخل الأنبوبة أو زيادة بنقصان السائل داخل الأنبوبة ليتناسب كل ذلك مع الأحمال الحرارية المتغيرة على المبخر.

23 . 2 المبادل الحراري (المقتصد) :

سيتم استخدام المبادل الحراري للإستفادة منه في زيادة كفاءة الإنتقال الحراراي وذلك باستخدام الغاز العائد من المبخر لزيادة تبريد السائل الداخل الى صمام التمدد وينتشر استعمال المبادل الحراري على وجه خاص في وحدات التبريد المنخفض(الشديد) وكذلك في الوحدات المجهزة بأنواع المكثفات ذات المراوح ويمد الغاز البارد من خطوط السحب الى داخل المبادل الحراري فيمد الحرارة من سائل التبريد قبل وصوله الى صمام التمدد وبذلك تزيد برودة السائل المزود على صمام التمدد وتترفع حرارة البخار في خطوط السحب قبل وصوله الى الضاغط ويفدنا ذلك في ظاهرة التندي علي خطوط السحب للضاغط بالإضافة الى منع إغلاق الضاغط بمائع التبريد عند بدء الدوران .

الفصل الثالث

3.0 التصميم

3 .1 أهداف مطلوبات التصميم:

يهدف هذا التصميم لتحقيق الاهداف الاتية :

1/ يعمل كمبرد مياه للطلاب والعاملين بكلية الهندسة والتقنية.

2/ عدد الطلاب والعاملين الكلي في الكلية حوالي 500 شخص.

3/ استهلاك الفرد من المياه الباردة في الدوامين حوالي 2 لتر من المياه (كمية متوسطة) وعليه يكون حجم المياه الباردة المطلوبة 1000 لتر يوميا.

4/ درجة حرارة المياه الباردة يتكون في حدود الـــــ15 درجة مئوية ولذلك بناءًا علي الشروط الصحية للإنسان.

5/ درجة حرارة المياه الدافئة الداخلة للخزان من الشبكة العامة للمياه 40 درجة مئوية.

6/ عدد ساعات التشغيل اليومية 3 ساعات إبتداء من السادسة صباحا وحتى التاسعة صباحا.

7/ يراعى دائما الاستفادة من المواد المتاحة في السوق المحلي في عملية تصنيع وتنفيذ المبرد.

8/ الاختيار الامثل لمكان وضع المبرد داخل الكلية بحيث يكون قريبا من مصدر المياه والكهرباء وفي متناول الجميع.

3 .2 مطلوبات التنفيذ:

تنفيذ مشروع مبرد المياه لكلية الهندسة والتقنية المطلوب توفر المواد الآتية :

1/ الخزان:

السعة 1000 لتر والمياه المطلوبة 800 لتر لزمن 12 ساعة ، الماركة تيقا (Tiga) بلاستيكي للأسباب الخاصة بالسلامة الصحية والعزل الحراري حسب ما موجود في دليل المصنع.

2/ وحدة التبريد:

وحدة تكييف اسبليت خارجية بسعة 18000 Btu/hr ماركة O-General بجودتها العالية

3/ ملف التبريد:

ماسورة نحاسية بقطر 0.25 بوصة للغاز الخارج وماسورة نحاسية بقطر 0.5 بوصة للغاز الداخل وطول حسب حساب الحمل الذي سيرد ذكره لاحقا ويكون قطر الملف أقل من قطر فتحة الخـــزان قلـــيلا ليســـمح بدخوله وخروجه بسهولة.

4/ الأنبوبة الشعرية:

ماسورة نحاسية قطرها وطولها يتوافق علي حسب قدرة الضاغط من دليل المصنع:

- منظم درجة الحرارة (ثيرموستات) خاص بمبردات المياه يعمل في مدى حراري(5 °C – 20°C)

3 .2 الاحتياجات الكهربائية :

1/ الاسلاك الكهربائية للتوصيل مقاس 6mm_4mm إذا كان مجوز أو $\frac{7}{36}$ $\frac{7}{44}$

2/ مفتاح سخان 45A

احتياجات العمل :

1/ 10 صباع فضة لعمل شباحات للمبخر المغمور.

2/ بدرة لحام.

3/ ادوات كهربائية.

شكل رقم (1-3) مبرد كامل واجزاءه

3.3 المعادلات :

$$Q = e * m° * cp *(Ti – tr)$$

e = الفعالية (effectiveness)

$$e = \frac{Ti-to}{Ti-tr}$$

حيث ان:

m° = معدل التدفق الكتلي

Cp = الحرارة النوعية

Tr = درجة حرارة الفريون

Q = كمية الحرارة

$$Q = h * A *(Tr – Tm)$$

H = معامل انتقال الحرارة بالحمل

A = مساحة سطح انتقال الحرارة

Tm = المتوسط اللوغريثمي لفرق درجات الحرارة (تم استخدام المتوسط اللوغريثمي لوجود فرق كبير في درجات الحرارة في الخزان)

$$L = \frac{A}{TTD}$$

L = طول المبخر المستخدم

D = قطر ماسورة المبخر

$$Nc = \frac{M}{D}$$

M = عدد لفات المبخر

D = قطر لفة المبخر

3.4 المعطيات :

In let temperature ℃	40
Out let temperature ℃	15
Rifregcent temperature℃	-10
Tank Capacity(liters)	1000
Cooling time (minutes)	120
Cp for water (J/kg.k)	4188
Convection coefficient	200
Evaporator Coil Diameter	0.01
Evaporator Coil ap Diameter	0.5

$$\mathbf{e} = \frac{Ti-to}{Ti-tr}$$

$$e = \frac{40-15}{40+15} = 0.5$$

$$Ce = e \times mx\ Cp(To\ .\ Ti)$$

$$M = \frac{1000\times10^4}{12\times3600} = 231.48\ hg/s$$

$$Q = 231.48 * 4.188 * 0.5(10 - 40)$$

$$Q = 14541.5\ kw$$

$$IBtu = 3.5\ kw$$

$$Q = 24809\ Btu/hr$$

$$Q = h*A\ (Tr - Tm)$$

$$Tm = \frac{O1-O2}{Ln\frac{O1}{O2}}$$

$$Tm = \frac{(40-(-10))}{Ln\frac{40}{10}} = 36.06$$

$$A = \frac{Q}{b(Tr-Tm)}$$

$$A = 0.160198062m^2$$

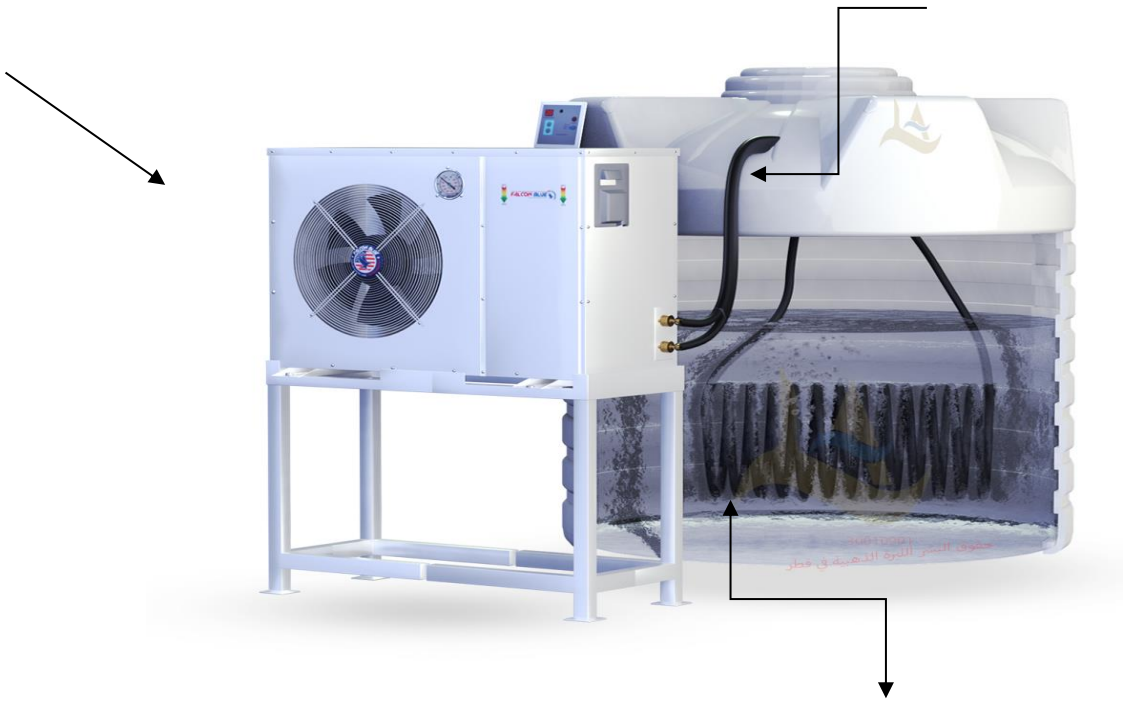
$$L = \frac{A}{uD} = \frac{0.160198062}{U \times 0.01}$$

$$L = 5.10\text{m}$$

$$N = \frac{L}{d} = \frac{5.10}{0.5} = 11\text{aps}$$

الفصل الرابع

0. 4 الاجزاء الرئيسية لمنظوم تبريد خزان مياه بإستخدام وحدة تبريد خارجية :



شكل (1-1)

1/ خزان مياه ماركة تيقا(1000)لتر كما اخترنا مسبقا لأسباب الخاصة بالسلامة الصحية والعزل الحراري حسب م موجود في دليل المصنع.

- سعر خزان تيقا (1000)لتر في السوق:

135.000 ألف جنيه سوداني.

2/ وحدة تكييف اسبليت خارجية بسعة 18000 Btu/hr ماركة O-General بجودتها العالية.

- سعر وحدة التكييف الخارجية سعة 18000 Btu/hr ماركة O-General في السوق:

300.000 ألف جنيه سوداني.

3/ ملـــف تبريـــد : مواســـير نحـــاس قطـــر 0.5 للغـــاز الـــداخل الخـــزان حوجـــة تســـعه لفات داخل قطر الخزان .

- سعر التسعة لفات في السوق 52.000جنيه سوداني .
- مواسير نحاس قطر 0.25 للغاز الطالع حوجة تلاته متر.
- سعر المتر الواحد في السوق 2000جنيه سوداني
- اذاً الثلاثة متر بسعر 6000جنيه سوداني .

الفصل الخامس

5.0 الخاتمة والتوصيات

الهدف من التصميم هو تصميم مبرد مياه شرب للطلاب بكلية الهندسة والعاملين بها وذلك يتوقف علي عمل المبرد(الخزان) علي تبريد المياه من درجة حرارة (4% إلي 15) وذلك بناء علي الشروط الصحية للإنسان.

5.1 خطوات التصميم:

لتصميم مبرد مياه نقوم أولا باختيار المكان بحيث يكون قريبا من مصدر الكهرباء والمياه ويجب الاستفادة من المواد المتاحة في السوق في عملية تصنيع وتنفيذ المبرد ولتنفيذ المبرد نقوم بتوفير خزان سعة (1000) ونحتاج أيضا لوحدة تبريد خارجية وهي عبارة عن تكييف اسب ليت لسعة (1822 Btu/hr) وملف تبريد نحاسي ذو قطر (0.25) بوصة للغاز الخارج وطول حسب حساب العمل الذي سيرد ذكره لاحقا.

ويكون قطر الملف اقل من قطر فتحة الخزان ليسمح قطرها وطولها يتوافق علي حسب قدرة الضاغط من دليل المصنع والاحتياجات الكهربائية.

5.2 التوصيات :

للمحافظة علي الوحدة يجب إتباعا الإرشادات الآتية :

- مراعاة العزل الجيد للخزان والمواسير الخارجية.
- مراعاة الاختيار الصحيح لسعة الخزان.
- مراعاة عمل الانحناءات في المواسير بصورة حساسة وبطريقة صحيحة بحيث لا تتعرض المواسير للكسر عند التشغيل.
- توفير إمكانية لتنظيف الخزان كل فترة زمنية محددة.
- يجب إن يكون ضخ المياه في المواسير بمعدل تدفق مناسب بحيث لا يحدث فقد للماء.
- مراعاة نظافة الوحدة الخارجية من فترة لآخري.
- يجب وضع المنظومة في مكان ظليل وبتهوية جيدة مع مراعاة توصيل شبكة المياه والكهرباء.
- اختيار الكيل الصحيح للمنظومة وذلك مقارنة بالتيار النهائي للوحدة الخارجية.
- مراعاة علم الطبائع البشرية في تصميم وتركيب المبرد.

المراجع :

1/ د. رمضان احمد محمود ، أنظمة التبريد الحرارية، الميكانيكية والكهربية، التبريد وانتقال الحرارة، جامعة الإسكندرية، كلية الهندسة.

2/ محمد ربيع الماط ، هندسة التبريد الصناعي والتجاري.

3/ إبراهيم محمد القرضادي ، تكنولوجيا التبريد والتهوية وتكييف الهواء ، الخبير بهيئة المكاتب الاستشارية العربية.

4/ صبري بولستر 1989، علاج عوارض وأعطال وحدات التبريد، دار الشروق، القاهرة.

5/ صبري بولستر 1999، تكييف الهواء المركزي واستخدام الطاقة الشمسية في تبريد الهواء.

6/ Smooch .G.A 1990 Handbook of pulp and paper technology. Angus wiled & sons US