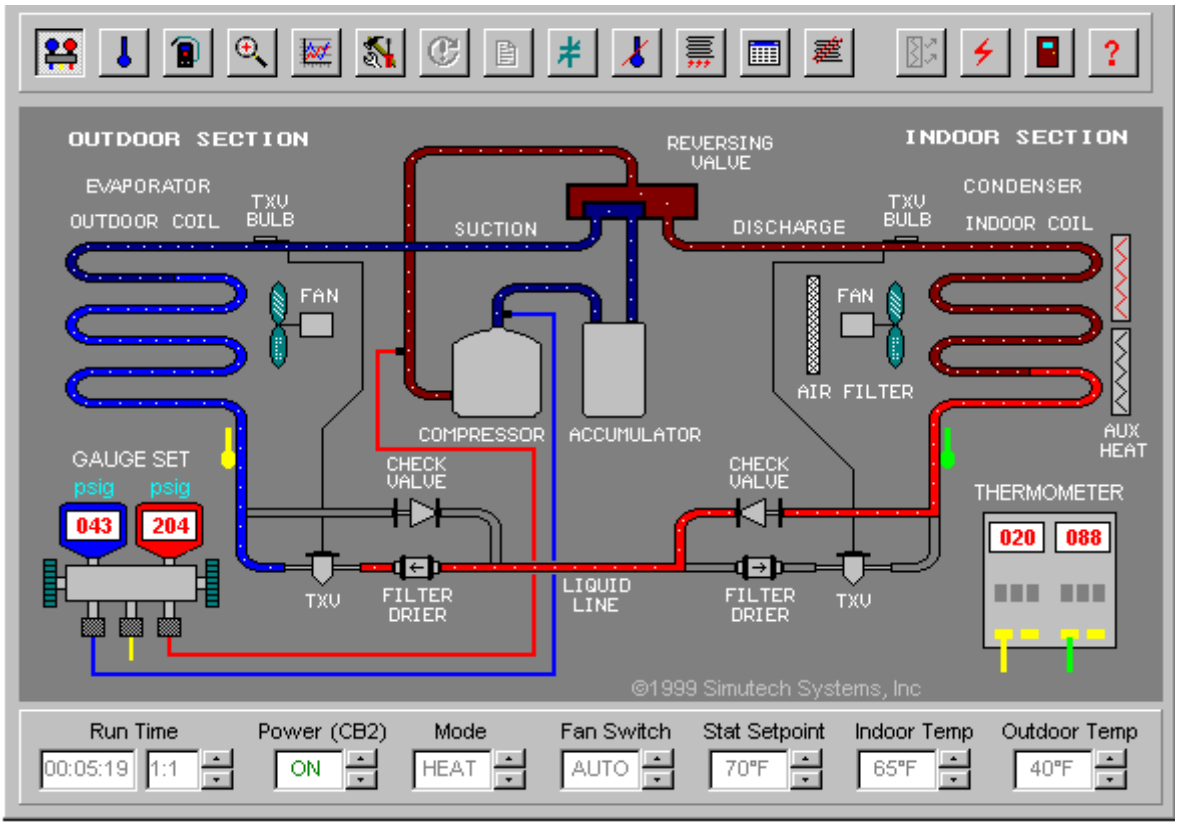
وزارة الصناعة والتجارة الخارجية
مصلحة الكفاية الإنتاجية والتدريب المهنى
الإدارة العامة للبرامج والمواصفات

تكنولوجيا التبريد والتكييف والمقاييس

السنة : الثالثة



إعداد
مهندس/ سيد كامل محمد جاد
مدير إدارة البرامج بالمصلحة

مراجعة
مهندس/ مدحت أبو الحسن محمد
مدير التدريب (مشروع الـ TVET)

العام التدريبي
2014/2015

مقدمة عامة

يعتبر علم التبريد والتكييف من أهم العلوم لدى الدول الصناعية المتقدمة وهو أحد فروع الهندسة الميكانيكة.

علم التبريد: هو علم يبحث فى كيفيه تبريد المواد بطرق متعدده من خلال الأجهزة وطرق التبريد المختلفة .

علم التكييف: هو فرع من علم التبريد حيث يبحث فى تكييف الجو بما يناسب راحة البشر.

ولعلم التبريد والتكييف تطبيقات أخرى، وفوائد كثيره مثل حفظ الطعام من التلف، وحفظ الدم البشرى فى ثلاجات الدم، وكذلك تكييف جو المبانى من خلال تبريدها فى الصيف أو تدفئتها فى الشتاء.

عزيزى الطالب لقد تعلمت فى الوحدات التدريبية المختلفة بالصفين الأول والثانى كثيراً عن طرق التبريد والتكييف المختلفة (نظريا وعمليا) وفى هذا الكتاب سوف نتعرض الى بعض أنواع التبريد الشائعة والخاصة من الناحية التكنولوجية ، مثل التبريد بالإمتصاص والتبريد باستخدام الطاقة الشمسية .

وسوف نتعرض لكيفية حساب القدرة الحرارية الإنضغاطية والأحمال الحرارية وحساباتها وخواص الهواء وطرق التهوية الصناعية.

وسوف نتعرف على أساسيات الصيانة ونظم محاكاة أعطال وحدات التبريد بإستخدام برامج الحساب الآلى وكذلك نظم إدارة الصيانة بإستخدام برامج الحاسب الآلى (CMMS) .

بالإضافة الى جزء هام جداً وهو المقايسات التى تمكنك من عمل المقايسات التقديرية لعمليات التبريد والتكييف المختلفة بأمثلة تطبيقية.

وتم إلحاق الكتاب بقاموس المصطلحات الفنية للتبريد وتكييف الهواء.

والحقيقة أن كثيرا من أساتذة الهندسة لهم السبق فى مثل هذه الموضوعات وقد تعلمنا منهم وأخذنا عنهم الكثير، ونتقدم لهم بخالص الشكر والتقدير ، ونبتهل بالدعاء إلى الله العلى القدير بأن يجعل جهدهم وهذا الجهد المتواضع فى ميزان حسناتنا إنه قريب مجيب الدعاء.

(والله من وراء القصد)

إعداد

مهندس/ سيد كامل محمد جاد

مدير إدارة البرامج بالمصلحة

مراجعة

مهندس/ مدحت أبو الحسن محمد

مدير التدريب (مشروع الـ TVET)

العام التدريبى

2014/2015

المحتويات

الباب	الموضوعـــات الرئيســـية	رقم الصفحة
١	دورة التبريد الإنضغاطية	٤
٢	طرق التبريد الخاصة	١٤
٣	المضخات الحرارية وحساب القدرة الحرارية الإنضغاطية	٢٧
٤	إستخدام الطاقة الشمسية فى مجالات التبريد والتكييف	٣٢
٥	خواص الهواء والتهوية الصناعية	٣٧
٦	التكييف المركزى	٤٩
٧	الأحمال الحرارية وحساباتها	٧٤
٨	أساسيات الصيانة ومحاكاة أعطال وحدات التبريد بإستخدام برامج الحاسب الآلى	٩٨
٩	**المقايسات**	١١٥
١٠	**ملاحق هامة**	١٤٠

الباب الأول : دورة التبريد الإنضغاطية

Compression Refrigeration Cycle

الباب الأول: دورة التبريد الإنضغاطية:

مقدمة:

قبل أن نخوض فى تفاصيل دورة التبريد يجب أن نتعرف أولا على بعض القوانين والمعارف الأساسية والتى تعتمد عليها جميع أنظمة التبريد وهى خمسة قوانين أساسية:

١. الموائع تمتص طاقه حراريه عندما تتحول من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية (من سائل إلى بخار) وتطرد طاقه حراريه عند تحولها من بخار إلى سائل .
٢. يغير المائع حالته عند درجة حرارة وضغط ثابتين .
٣. تنتقل الحرارة فقط من الجسم الذى درجة حرارته أعلى إلى الجسم الذى درجة حرارته أقل (أى من الجسم الساخن إلى الجسم البارد)، وهذا ما يعبر عنه القانون الأول للديناميكا الحرارية.
٤. الأجزاء المعدنية للمبخر والمكثف يجب أن تكون جيدة التوصيل للحرارة ويجب إختيار معدنها من النوع الذى لا يتفاعل مع وسيط التبريد ؛ (يعتبر النحاس الأصفر والنحاس الأحمر والألمونيوم أكثر المعادن شيوعا لهذا الاستعمال).
٥. الطاقة الحرارية وأشكال الطاقة الأخرى قابلة للتحول من صورة إلى أخرى فعلى سبيل المثال، يمكن تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية كما فى الفرن المنزلى، وبالعكس يمكن تحول الطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية كما يحدث فى محطات توليد الكهرباء التى تعمل بالغاز الطبيعى أو البترول أو الفحم وكذلك تحول الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية كما فى محرك الاحتراق الداخلى وهكذا.

وسيط التبريـد

هو المادة التى تتمكن من تحقيق الهدف من الدورة التبريدية، وتعد الآمونيا والماء والهواء والفريونات (المشتقات الهالوجينية)من أكثر وسائط التبريد انتشاراً ، وتستخدم وسائط تبريد فى الصناعات البتروكيميائية مثل الغازات الهدروكربونية مثل الميثان، الإيثان، والبروبان.

حالة المادة:

توجد المادة على ثلاث حالات هى: الصلبة - السائلة – الغازية ويمكن تحويلها من صورة الى أخرى.

الطاقة:

هى المقدرة على بذل شغل، والشغل هو تحريك كتلة لمسافة معينة فى وجود قوى مضادة.
ومن أمثلة الشغل : رفع الأجسام، وتحريك الغازات والسوائل داخل الأنابيب .
وللطاقة اشكال عديدة منها: الميكانيكية، الحرارية، الكهربية، الكيميائية، والنووية ... إلخ.

درجة الحرارة:

هي مقياس لبرودة اوسخونة الأجسام وفى المعيار المئوى تعتبر درجة حرارة الماء المخلوط بالثلج عند الضغط الجوى = صفر° م ، ودرجة غليان الماء = ١٠٠° م.
كمية الحرارة (المكتسبة أو المفقودة) = كتلة المادة ×الحرارة النوعية× (فرق درجات الحرارة)

الحرارة المحسوسة:

هى الحرارة التى تسبب رفع درجة حرارة المادة دون تغيير حالتها ، وسميت محسوسة لأنها يمكن قراءتها خلال الترمومتر.

قياس درجة الحرارة:

تقاس درجة الحرارة بأجهزة الترمومترات بدرجات قياس فهرنهايت أو درجات سلسيوس (المئوية) والدرجة المئوية هى المقياس الدولى (المترى).
للتحويل من درجة فهرنهايت إلى التدريج المئوي تستخدم المعادلة التالية:

$$C^o = (5/9 \times F^o) - 32$$

وللتحويل من درجة مئوية إلى درجة فهرنهايت استخدم المعادلة التالية :

$$F^o = (9/5 \times C^o) + 32$$

مثال: حول كل من: F^o 180 الي C^o ، C^o 100 الي F^o

$C^o = (5/9 \times F^o) - 32 = (5/9 \times 180) - 32 = 68\ C^o$

$F^o = (9/5 \times C^o) + 32 = (9/5 \times 100) + 32 = 212\ F^o$

وقبل أن نشرح دورة إضغاط البخار البسيطة سوف نتعرف على أهم المصطلحات المستخدمة فى مجال التبريد

طن التبريد:

كمية الحرارة اللازمة لتجميد واحد طن من الماء، وهى تعادل 3.5 ك.وات ، أو 12000 B.T.U.

وحدة الحرارة البريطانية هى: (و.ح. ب) B.T.U = 1054.8 جول

كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة رطل واحد من الماء درجه واحدة فهرنهايت.

الضغط: هوتأثير الكتلة على مربع المساحة .

والضغط الجوى = ١٠١,٣ كيلو باسكال أو ١٤,٧ رطل على البوصة المربعة.

قياس الضغط:

وحدات قياس الضغط فى النظام المترى (الدولى) هى نيوتن لكل متر مربع والتى تسمى " باسكال " .

أما وحدة القياس حسب المعايير البريطانية فهى باوند " رطل " لكل بوصة مربعة.

ضغط التفريغ:

وهو أقل من الضغط الجوى ويقاس بواسطة عدادات قياس ضغط ويقاس بطول عمود من الزئبق على البوصة المربعة أو بالسنتيمتر الطولى على وحدة المساحة.

قياس القدرة :

وحدة قياس القدرة فى النظام المترى (الدولى) هى وات

أما فى النظام البريطانى وحدة حرارة بريطانية (و.ح. ب) / ساعة B.T.U/hr .

بعض التحويلات الهامة:

- طن التبريد = ١٢٠٠٠ و . ح . ب / ساعة
- طن التبريد × ٣,٠٢٤ = كيلو كالورى فى الساعة
- طن التبريد = ٣,٥١ كيلو وات
- الكيلو وات = ٣٤١٢ و . ح . ب / ساعة
- كيلو وات = ١,٧٧ حصان
- البوصة = ٢,٥٤ سم
- الأوقية = ٣١,١ جرام
- الباسكال = نيوتن/ متر مربع

دورة التبريد الإنضغاطية

تسمى دورة التبريد الإنضغاطية بهذا الإسم نظرا لأن الضاغط يقوم بضغط بخار وسيط التبريد من الضغط المنخفض إلى ضغط عال، وهذا الإنضغاط يحدث على أثره إنتقال للطاقة الحرارية من داخل الحيز المبرد إلى الخارج، حيث يقوم الضاغط (الطلمبة الحرارية Heat Pump) بنقل الحرارة من مكان إلى آخر.

ويتكون نظام التبريد أساسا من جانبين: جانب الضغط العالى وجانب الضغط المنخفض، ويمكن تتبع دورة تبريد بسيطة كالموضحة فى الشكل (١) كالتالى:

دائرة التبريد الميكانيكية (الإنضغاطية) الأساسية:

كما ذكرنا أن أى سائل يتبخر ويتكثف وهو التغير ما بين الحالة السائلة والحالة الغازية، فعند التبخر يجب أن يحصل السائل على الطاقه الحراريه الكامنة الكافية للتبخر ، بينما عند التكثيف يتم طرد الطاقه الحراريه الكامنة مرة أخرى.

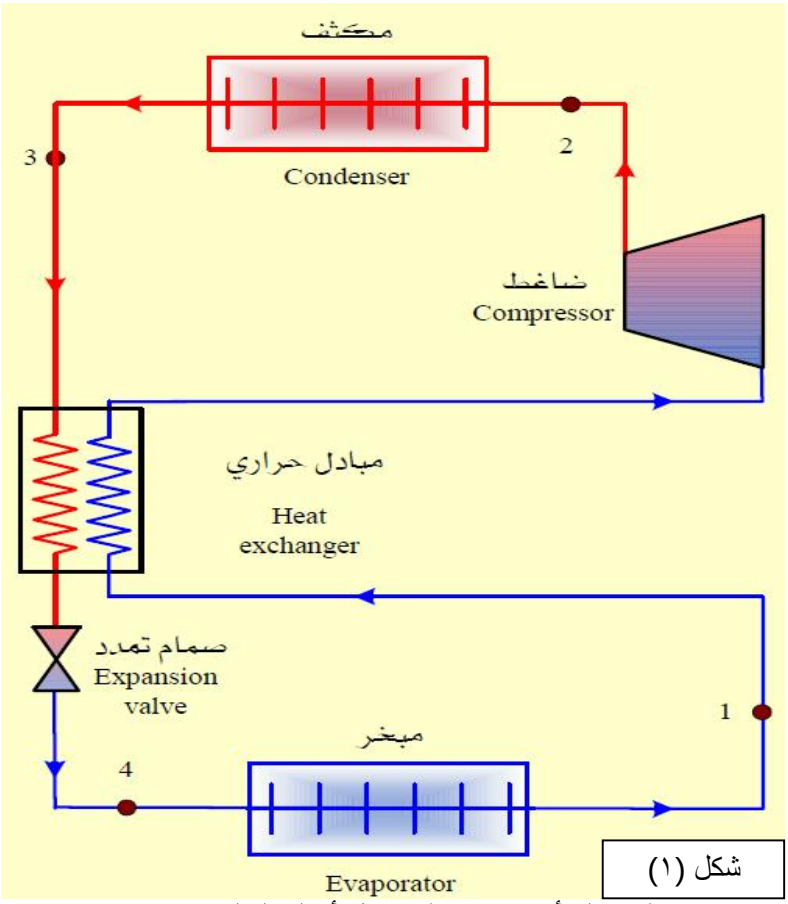
وتتكون أى دائرة تبريد ميكانيكية من أربعة أجزاء رئيسية هى:

١- الضاغط Compressor:

٢- المكثف Condenser:

٣- صمام التمدد Expansion Valve:

٤- المبخر Evaporator:



شكل (١)

١- الضاغط Compressor:

وظيفة الضاغط فى دورة الإنضغاط هى رفع ضغط البخار الجاف من الضغط المنخفض إلى الضغط العالى للمكثف، ويعتبر الضاغط أحد الأجزاء الرئيسية فى أى دورة تبريد ميكانيكية، فبدون الضاغط لا يمكن حدوث دورة التبريد وإعادة سائل التبريد إلى حالته الأصلية من حيث المحتوى الحرارى.

ويقوم الضاغط برفع ضغط وسيط التبريد القادم من المبخر لضغط مناظر لدرجة حرارة تشبع أعلى من درجة حرارة الجو المحيط (أو الوسط المحيط) وهذا يؤدى إلى حدوث التبادل الحرارى بين وسيط التبريد بالمكثف والوسط المحيط، كما أنه يؤدى إلى تكثيف وسيط التبريد.

وتصنع الضواغط بأشكال وأحجام وتصميمات مختلفة وعموما تنقسم الضواغط إلى الأنماط الآتية:

(أ) **ضواغط ترددية (المكبسية):** وهى الأكثر إنتشاراً فى آلات التبريد، وقد تكون وحيدة المرحلة أو متعددة المراحل أوالتسلسلية .

(ب) **الضواغط الدورانية:** تمتاز بصغر حجمها، وقلة عدد الأجزاء المتحركة فيها، ويمكن التمييز بين نوعين من الضواغط الدورانية: ضواغط دورانية ذات شفرات منزلقة وضواغط دورانية ذات إسطوانة دوارة منزلقة.

(ج) **الضواغط التوربينية:** وهى مناسبة عند القدرات التبريدية المتوسطة والكبيرة، ويمكن استعمالها للحصول على مجال حرارى واسع، وتستخدم في الطائرات.

(د) **الضواغط الحلزونية:** تحتوى الضواغط الحلزونية المستخدمة فى التبريد على عمودين حلزونيين دوارين يقومان بعملية الإنضغاط، وهى مناسبة للقدرات التبريدية الكبيرة.

٢- المكثف Condenser:

هى مبادلات حرارية يتم فيها تبريد وتكاثف وسيط التبريد الساخن المضغوط ليعاد إستخدامه كسائل فى المبخر. وتضم المكثفات الأنماط الأساسية الآتية:

١. **المكثفات المائية:** يعمل الماء فيها وسيطامبرداً .
٢. **المكثفات الهوائية:**وفيها يقوم الهواء بدور الوسيط المبرّد، وتستخدم هذه المكثفات فى البرادات المنزلية ومبردات الماء الصغيرة .
٣. **المكثفات التبخرية:** وتتألف من أنابيب حلزونية ملساء أو ريشية موجودة ضمن صندوق المكثف، وتطرح الحرارة من وسيط التبريد بشكل رئيسى عن طريق تبخر الماء الذى يبلل الجدران الخارجية لأنابيب المكثف، وتستخدم هذه المكثفات عادة فى آلات التبريد الكبيرة التى تستخدم الآمونيا وسيطا تبريدا وذلك لرخص ثمنها .

٣- صمام التمدد Expansion Valve:

هى المبادلات الحرارية التى ينتج التأثير التبريدى فيها عن طريق تبخر وسيط التبريد نتيجة لإمتصاصه كمية من الحرارة من المادة المراد تبريدها.

وتقسم المبخرات بحسب الوسط الذى تبرده إلى ثلاثة أنواع :-

١- **المبخرات الماصة:** التى تمتص الحرارة من وسيط تبريد ثانوى.
٢- **المبخرات الصفائحية:** وتتألف من حوض على شكل متوازى مستطيلات، تثبت فيه مقاطع تبخرية متوازية ذات صفائح، تمتاز هذه المبخرات بصغر وزنها وإنخفاض كلفتها التأسيسية.
٣- **المبخرات الهوائية:** وتقوم هذه المبخرات بإمتصاص الحرارة من الهواء مباشرة.

٤- المبخر Evaporator:

تستخدم صمامات التمدد فى دورات التبريد من أجل غرضين أساسيين: الأول يتعلق بعملية ثرموديناميكية، تهدف إلى تخفيض ضغط وسيط التبريد من ضغط التكاثف المؤثر فى المكثف إلى الضغط المؤثر فى المبخر، أما الهدف الثانى فإنه يتعلق بعملية التحكم بكمية وسيط التبريد الداخلة إلى المبخر .

<u>الأجزاء الإضافية (الثانوية) لدائرة التبريد:</u>

تضم دائرة التبريد مجموعة من التجهيزات المساعدة أو الثانوية ومن أهمها :-

فاصل الزيت: ويستخدم فى فصل قطرات الزيت العالقة ببخار وسيط التبريد القادم من إسطوانات الضاغط .

فاصل السائل: ومهمتة فصل قطرات السائل العالقة ببخار وسيط التبريد القادم من المبخرات .

الوعاء البينى: يستعمل فى آلة التبريد الثنائية أو الثلاثية المراحل التى تعمل على الآمونيا، ويستفاد منه فى عملية تبريد سائل وسيط التبريد المتجه إلى المبخر .

المصفاة: تقوم المصافى بحماية أسطوانات الضواغط الكبيرة من دخول الأوساخ والترسبات الميكانيكية العالقة بسائل وسيط التبريد .

المجفف: يساعد المجفف على حماية الضاغط من الرطوبة الموجودة فى دارة التبريد .

مجمع السائل : مهمتة تجميع سائل وسيط التبريد المتكاثف، وتنظيم توزيعه على المبخر أو المبخرات المستعملة فى دارة التبريد .

نظرية الأداء لدورة التبريد الأنضغاطية:

لمعرفة أداء دورة التبريد الإنضغاطية، يجدر بنا التعرف على خرائط الأداء لها، والخرائط الشائعة الاستعمال عند تحليل أداء دورة التبريد الإنضغاطية هى منحنى الضغط والإنثالبى (P- h diagram).

ويجب أولا ان نتعرف على بعض المصطلحات والقوانين التالية:

الانتروبى: Entropy ويرمز له بالرمز s

هو متغير يعبر عن مدى العشوائية أو الفوضى فى النظام .

وأيضاً هو النسبة بين كمية الحرارة Q إلى متوسط درجة الحرارة الابتدائية والنهائية للنظام T .

وحدة القياس : KJ / K ، معادلته s=Q/T

الأنثالبى (السخانة) Enthalpy:

عبارة عن الطاقة الحرارية والطاقة الميكانكية المخزونة فى المائع نتيجة تسخين المائع وسريانة أو هى كمية الطاقة الحرارية الكلية فى الهواء بالنسبة لوحدة الأوزان.

يتكون الإنثالبى لأى نظام من جزئين طاقة داخلية U وشغل ناشئ عن تغير الحجم PV (الشغل هنا هو حاصل ضرب الضغط P في الحجم V) :

رمز الإنثالبى h ، ووحدته KJ/Kg ، ومعادلته: h =U+PV

و لا يمكن قياس الإنثالبى الكلى h لنظام.

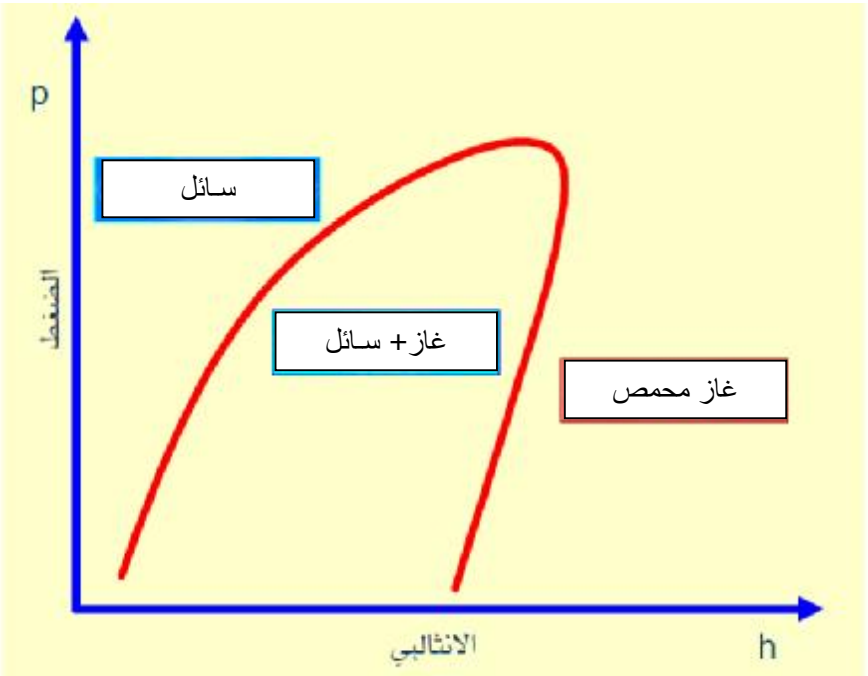
ولكننا نستخدم التغير فى الإنثالبى Δh كمية يمكن قياسها والاستفادة بها أكثر من تعيين قدرها المطلق.

وقد أتفق على الآتى:

إذا كان تغير Δh موجب الإشارة : فيكون تفاعل يمتص الحرارة .

إذا كان تغير Δh سالب الإشارة : فيكون تفاعل ناشر للحرارة .

وهذا المخطط مقسم إلى ثلاث مناطق مفصول بينها بخطى التشبع سائل أو بخار وهى موضحة بشكل (٢):



شكل (٢) مخطط الضغط مع طاقة الأنثالبى

أ- منطقة التبريد الدونى :
وهى تقع على الجانب الأيسر من المخطط وفى هذه المنطقة يكون مركب التبريد فى حالة سائله فقط ودرجة الحرارة تكون أقل من درجة حرارة التشبع بالنسبة لأى ضغط .

ب- منطقة التحميص:
وهى المنطقة التى تقع على الجانب الأيمن من المخطط وفى هذه المنطقة يكون وسيط التبريد فى حالة بخار فقط ودرجة الحرارة تكون أكبر من درجة حرارة التشبع بالنسبة لأى ضغط .

ج- المنطقة الوسطى:
حيث يكون مركب التبريد فى حالة تغير الطور (سائل +غاز) المسافة الأفقية بين خطى التشبع مقروءة على إحداثيات الإنثالبى عند أى ضغط ، تعرف بالحرارة الكامنة للانصهار (Latent Heat of Vaporization) لمركب التبريد مع ملاحظة أن قيمة هذه الحرارة الكامنة تقل مع زيادة الضغط .

دورة إنضغاط البخار البسيطة Simple Vapor Compression Cycle (VCC)

وتعرف أحيانا بدورة رانكين (Ranking Cycle) أو الدورة النظرية للتبريد

والعمليات الأساسية لدورة البخار الإنضغاطية البسيطة يمكن تلخيصها فى الآتى :

العملية 2 ← 1 : عملية ثبوت الانتروبى Process 1-2: Isentropic Compression (S=C)

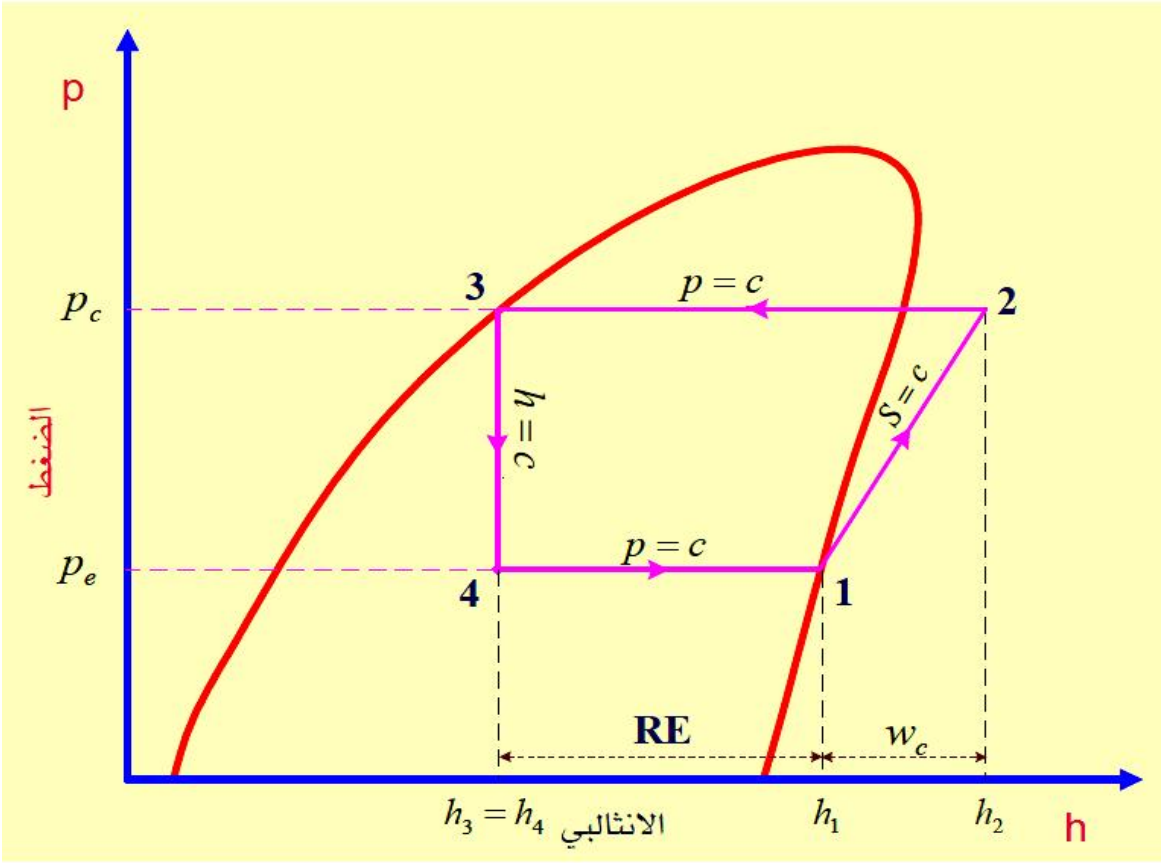
عند دخول وسيط التبريد الى الضاغط يكون فى حالة بخار (x=1) وبعدها يتم ضغط وسيط التبريد فى عملية أدياباتية (كاتمة للحرارة) عكسية (ثبوت الانتروبى) حيث يزداد الضغط من ضغط السحب عند النقطة (1) الى ضغط الطرد (النقطة 2) وعليه يتم بذل شغل للضاغط.

وباستخدام القانون الأول للديناميكا بين النقطتين (1) و (2) نجد ان :-

$$W_c = \dot{m}\,(h_2 - h_1)$$

والشكل التالى (٣)

يوضح مخطط الحالة لدورة التبريد البسيطة على منحنى الضغط والأنثالبى (P- h diagram)



شكل (٣) مخطط الحالة (state diagram) لدورة التبريد البسيطة

حيث :

شغل الانضغاط $W_c = \{KW\}$

الانثالبى عند النقطة (1) $h_1 = \{KJ/Kg\}$

الانثالبى عند النقطة (2) $h_2 = \{KJ/Kg\}$

وذلك بفرض أن التغير فى طاقة الوضع والحركة صغير جدا ويمكن إهماله.

العملية 3 ⟵ 2 : عملية فقدان الحرارة بالمكثف (مع ثبوت الضغط)

Process 2-3 Heat Rejection to hot {P=C}

عند سريان وسيط التبريد فى المكثف من (2) الى (3) يتم فقدان الحرارة الى الجو المحيط الذى الذى درحة حرارته اقل من درجة حرارة المكثف ، ويدخل وسيط التبريد إلى المكثف فى حالة تحميص حيث يبرد تبريدا محسوسا مع ثبوت الضغط الى درجة التشبع بعدها تكون عملية التبريد فى المكثف تبريدا كامنا حتى يصل وسيط التبريد الى النقطة (3) عندها يكون وسيط التبريد سائلا مشبعا.

تكون كمية الحرارة المفقودة من المكثف (Q_c) هى :

$$Q_c = m^{\cdot} (h_2 - h_3)$$

الحرارة المفقودة خلال المكثف	$Q_c = \{KW\}$
الانثالبى عند النقطة (3)	$h_3 = \{ KJ/Kg\}$
الانثالبى عند النقطة (2)	$h_2 = \{ KJ/Kg\}$

العملية 4 ⟵ 3 : عملية الخنق خلال صمام التمدد تؤدى الى خفض ضغط المكثف العالى الى الضغط المنخفض للمبخر عند (4) ، (أى أنه فى هذه العملية يتم خفض كلا من درجة الحرارة والضغط)، وبإعتبار هذه العملية عملية أديباتية (كاتمة للحرارة) وبدون بذل أى شغل ، يمكن باستعمال القانون الأول للديناميكا الحرارية التوصل للأتى:

$$H_4 = h_3$$

العملية 1 ⟵ 4 :

عملية إكتساب الحرارة بالمبخر (مع ثبوت الضغط) Process 4-1 Heat addition at cold region (P=C) هى العملية الاخيرة لعملية الإضغاط بالبخار وتكون فى المبخر، حيث تكون درجة حرارة المبخر أقل من درجة حرارة الحيز المحيط كى يتسنى إنتقال الحرارة من الحيز المحيط إلى المبخر .

ويدخل وسيط التبريد فى المبخر كوسيط تبريد مكون من بخار وسائل (نسبة كمية السائل غالبا ما تكون أقل من البخار) وتكون عملية اكتساب الحرارة هى عملية كامنة حتى يكون وسيط التبريد بخارا مشبعا (النقطة ١) كما فى المكثف .

وتكون هذه العملية عند ثبوت الضغط .

وتكون كمية الحرارة المكتسبة بالنسبة للمبخر (حمل المبخر) هى :-

$$Q_e = m^{\cdot} (h_1 - h_4)$$

الحرارة المفقودة خلال المبخر	$Q_e = [\ kw\ ]$
الانثالبى عند النقطة (١)	$h_1 = [\ kj / hg\ ]$
الانثالبى عند النقطة (٤)	$h_4 = [\ kj / kg\ ]$

والجدول التالى يوضح ملخص العمليات الثرموديناميكية:

العلاقة الاساسية Key Relation	المكون component	العملية process
$S_2 = S_1$	الضاغط compressor	1-2
$P_3 = P_2$	المكثف Condenser	2-3
$h_4 = h_3$	صمام التمدد expansion valve	3-4
$P_4 = P_1$	المبخر evaporator	4-1

والجدول التالى يلخص حالات النقاط الأربع فى دائرة التبريد المثالية:

النقطة	الطور
1	بخار مشبع
2	بخار محمص
3	سائل مشبع
4	خليط من البخار والسائل

الباب الثانى : طرق التبريد الخاصة

Special Refrigeration Methods

الباب الثانى : طرق التبريد الخاصة

مقدمة:

لقد تعرفنا فى الباب الأول على دورة التبريد الإنضغاطية ونظرية عملها وكيفية تمثيلها على مخطط وخرائط الأداء المعروفة بخرائط الضغط والإنثالبى (P – h diagram).

وسوف نتعرف فى هذا الباب على طرق ودوائر التبريد الخاصة ومنها:

١- الدورة التبريدية المغلقة:

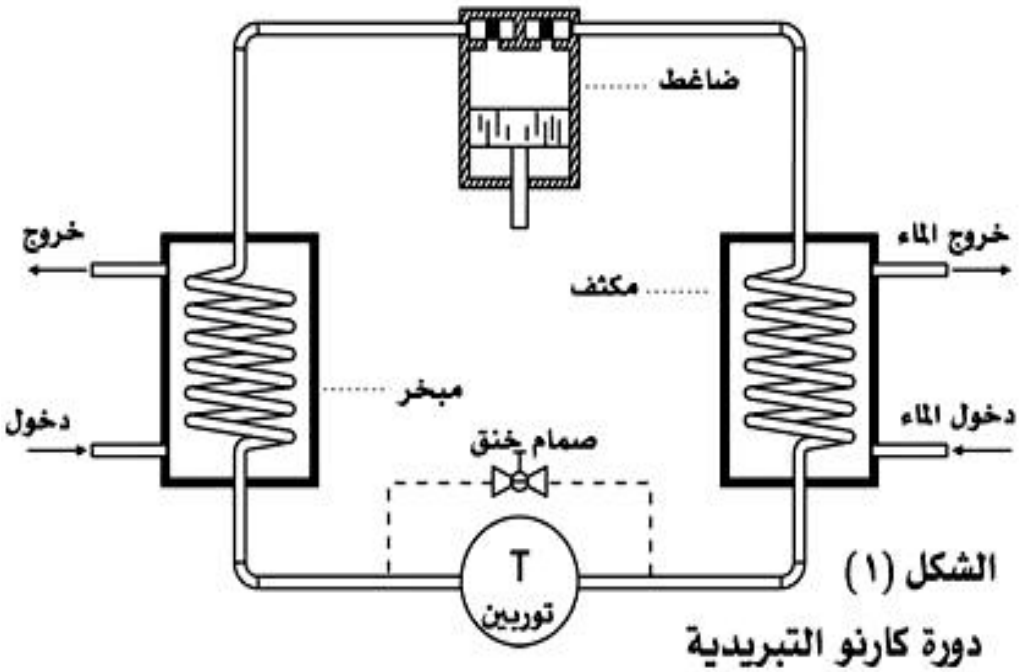
ويمكن من خلالها الحصول على عملية تبريد مستمرة بكمية محدودة من وسيط التبريد، وذلك فى عملية دائرية يعود وسيط التبريد فى نهايتها إلى حالته البدائية، بعد إنجاز التأثير التبريدى، وتسمى مجموعة العمليات المطبقة على وسيط التبريد لإنجاز هذه الدورة التبريدية المغلقة بالدورة الثرموديناميكية العكسية .

والتطبيق لهاهو: دورة كارنو (كارنوت) التبريدية كما بشكل (١)

إذ يكتسب وسيط التبريد كمية من الحرارة فى المبادل الحرارى (المبخر) من الجسم المراد تبريده عند درجة حرارة ثابتة، ثم يضغط حتى تصل درجة حرارته إلى قيمة T أعلى من درجة حرارة الوسط المحيط ،

ثم يطرح وسيط التبريد كمية من الحرارة فى مبادل حرارى آخر (المكثف) عند درجة الحرارة الثابتة T ،

وفى المرحلة الأخيرة يجرى تمدد وسيط التبريد فى (صمام خنق) بحيث ينخفض ضغطه ودرجة حرارته إلى T_0.



الشكل (١)

دورة كارنو التبريدية

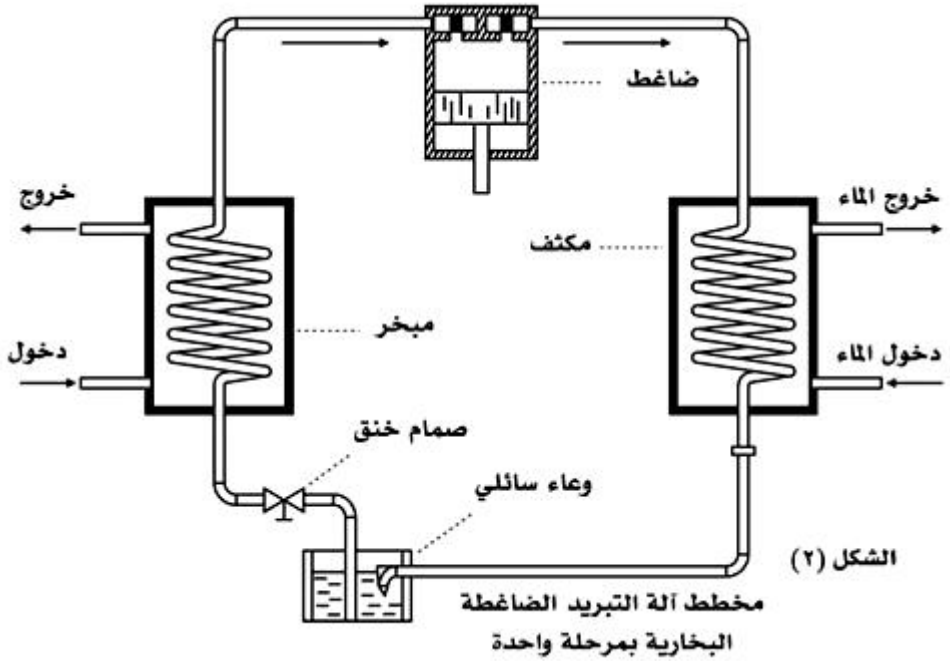
٢- الدورة التبريدية المفتوحة:

تتحقق المراحل المختلفة لهذه الدورة فى أمكنة وأزمنة مختلفة، وكمثال على هذه الدورة: عملية الحصول على الجليد الجاف من غاز الفحم، ومن ثم الاستفادة منه في عملية التبريد.

ففى المرحلة الأولى من هذه الدورة يضغط غاز الفحم إلى ضغط معين ثم يبرد فيتحول إلى سائل ويتم بعد ذلك تمديده إذ يتحول إلى جسم صلب جاف ويخزن لحين الاستعمال.

وفى المرحلة الثانية من الدورة يستفاد منه لأغراض التبريد إذ يتصاعد مباشرة إلى غاز لدى إمتصاصه الحرارة بدرجة حرارة منخفضة، تعتمد على قيمة الضغط المطبق .

٣- دورات آلات التبريد الضاغطة البخارية:



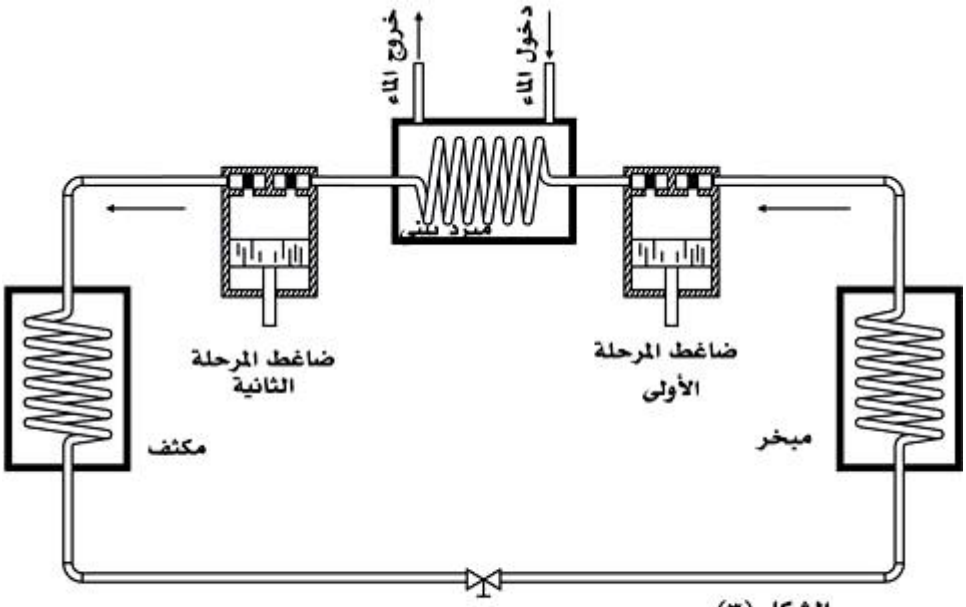
الشكل (٢)
مخطط آلة التبريد الضاغطة البخارية بمرحلة واحدة

وهى آلات تستفيد من غليان وسيط التبريد السائل، عند درجات حرارة منخفضة ويضغط فيها وسيط التبريد عن طريق صرف عمل ميكانيكى فى الضاغط، للحصول على الفعالية التبريدية، وتصنف هذه الآلات ضمن نمطين أساسيين هما:

أ ـ آلات التبريد الضاغطة البخارية بمرحلة واحدة: تتألف هذه الآلة من العناصر الرئيسية [المبخر ـ الضاغط ـ المكثّف ـ صمام التمدد (صمام الخنق)] .

ب ـ آلات التبريد الضاغطة البخارية بمرحلتين: تجزأ عملية الإنضغاط للتخلص من الآثار الناتجة عن إرتفاع درجة حرارة وسيط التبريد المضغوط وذلك بإستعمال عدة ضواغط (عدة مراحل) ويتم بين كل مرحلة وأخرى تبريد وسيط التبريد المضغوط بإستخدام المبردات البينية ومن أهم هذه الآلات :-

- آلة التبريد بمرحلتى إنضغاط مع تبريد بينى غير كامل كما بشكل (٣) .
- آلة التبريد بمرحلتى إنضغاط بصمامى تمدد مع تبريد بينى كامل .



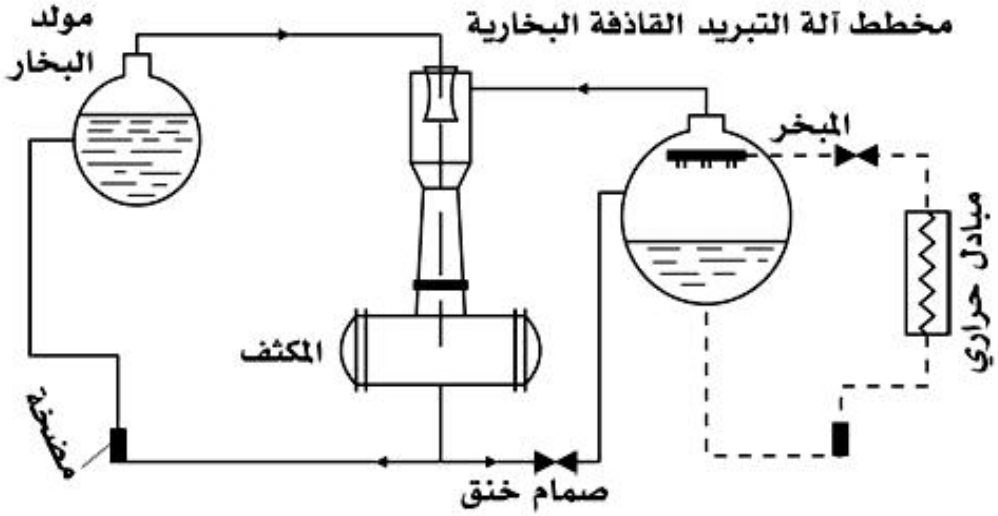
الشكل (٣)

آلة تبريد بمرحلتي انضغاط مع تبريد بيني غير كامل

٤- آلات التبريد القاذفة للبخار:

تنسب آلات التبريد القاذفة للبخار إلى مجموعة آلات التبريد التى تستخدم القدرة الحرارية، ولا ينفق فيها قدرة ميكانيكية، وغالباً ما يكون الجسم العامل في هذه الآلات الماء، ولكن تستخدم الفريونات كوسائط تبريد حين يراد الحصول على درجات حرارة منخفضة، وتعد هذه الآلة ملائمة للاستخدام فى تكييف الهواء وعمليات تجفيف الأغذية، ويوضح شكل (٤) مخطط لدائرة آلة التبريد القاذفة للبخار.

الشكل (٤)

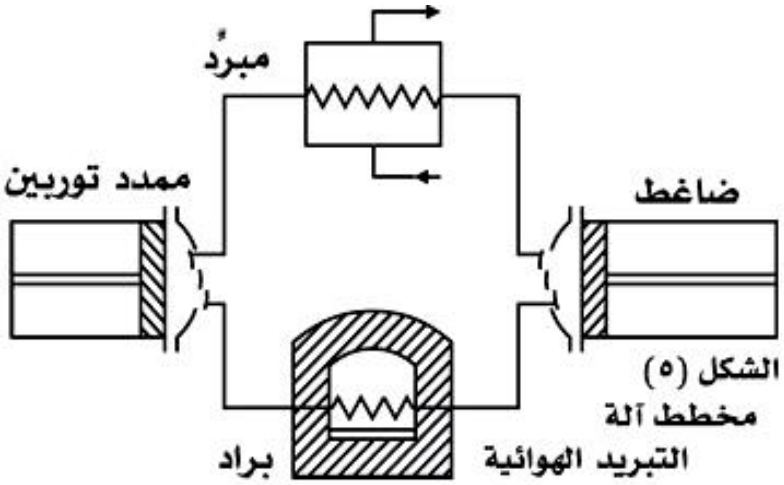


٥- آلات التبريد بالهواء:

أستعملت آلة التبريد بالهواء قديماً على نطاق واسع قبل إنتشار آلات التبريد البخارية العاملة بالآمونيا والفريونات وسميت بالهوائية لأنها تستعمل الهواء وسيط تبريد، وتتألف الدورة المبسطة لآلة التبريد الهوائية من أربعة عناصر رئيسية كما بالشكل (٥) وهى : براد (غرفة تبريد) ـ ضاغط ـ مبرد ـ ممدد توربينى.

ويستفاد من آلة التبريد بالهواء على نطاق واسع فى عملية تكييف الهواء داخل الطائرات التجارية.

وتم حالياً رفع أداء هذه الآلات بعد استعمال المبادلات الحرارية الإرجاعية فيها .



الشكل (٥)
مخطط آلة
التبريد الهوائية

٦- آلات التبريد بالإمتصاص: Absorption Refrigeration:

التبريد بالإمتصاص هو أقدم نظم التبريد ، ولا يحتاج هذا النظام إلى كهرباء بل يحتاج إلى الحرارة من منابع مختلفة (مثل الطاقة الشمسية، الحرارة المهدرة من المصانع ، الحرارة المباشرة من أنظمة التسخين) وذلك للتزود بالطاقة اللازمة لتشغيل نظام التبريد.

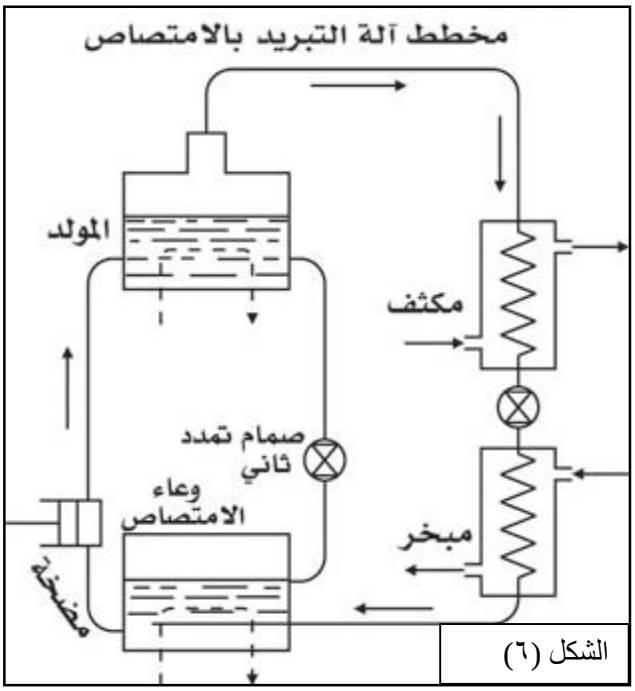
وتعتبر هذه الطريقة الأكثر شهرة بعد التبريد بالإنضغاط عندما يكون إستخدام الكهرباء غير ممكن أو باهض الثمن أو غير مطلوب وأيضاً عندما يزداد الإزعاج الصادر من الضوغط وأيضاً عندما يكون هناك فائض من الحرارة يمكن إستخدامه (مثل عوادم المحركات ،العلمليات الصناعية ،محطات الطاقة الشمسية).

على سبيل المثال التبريد بالإمتصاص يعمل بوساطة الحرارة من إحتراق الغاز المسال ويستخدم غالباً لتخزين الأطعمة في السيارات الفارهة .

والتبريد بالإمتصاص يمكن إستخدامه فى تكييف المنازل بإستخدام الحرارة من مسخنات الماء.

ويعتمد هذا النظام على ظاهرة توجد لدى بعض المواد عند تبريدها، حيث يصبح لها القدرة على إمتصاص مواد أخرى، وعند إعادة تسخينها تتخلص من المواد التى إمتصتها قبل ذلك، وفى هذا النظام للتبريد لدينا نوعان من المواد (قد تكون صلبة أو سائلة) ،الأول يعرف بإسم المواد الماصة (Absorber) ، والثانى يعرف بمائع التبريد (Refrigerants)، ويتم فى آلة التبريد بالإمتصاص نقل الحرارة من الوسط المبرد ذى درجة الحرارة المنخفضة إلى الوسط الخارجى ذى درجة الحرارة المرتفعة عن طريق صرف طاقة حرارية فى حين يتم فى آلة التبريد الإنضغاطية البخارية صرف قدرة ميكانيكية، ويستخدم فى هذه الآلة وسيطين هما وسيط التبريد والمادة الماصة له، وإنتشر فى الوقت الحاضر إستعمال آلات التبريد العاملة بالماء مع الآمونيا أو الليثيوم.

ويبين الشكل (٦) المكونات الأساسية لدائرة التبريد بالإمتصاص.



الشكل (٦)

مكونات دائرة (آلة) التبريد بالإمتصاص:

١- وعاء الإمتصاص
٢- المضخة
٣- المكثف
٤- صمام التمدد
٥- المبخر
٦- مولد البخار

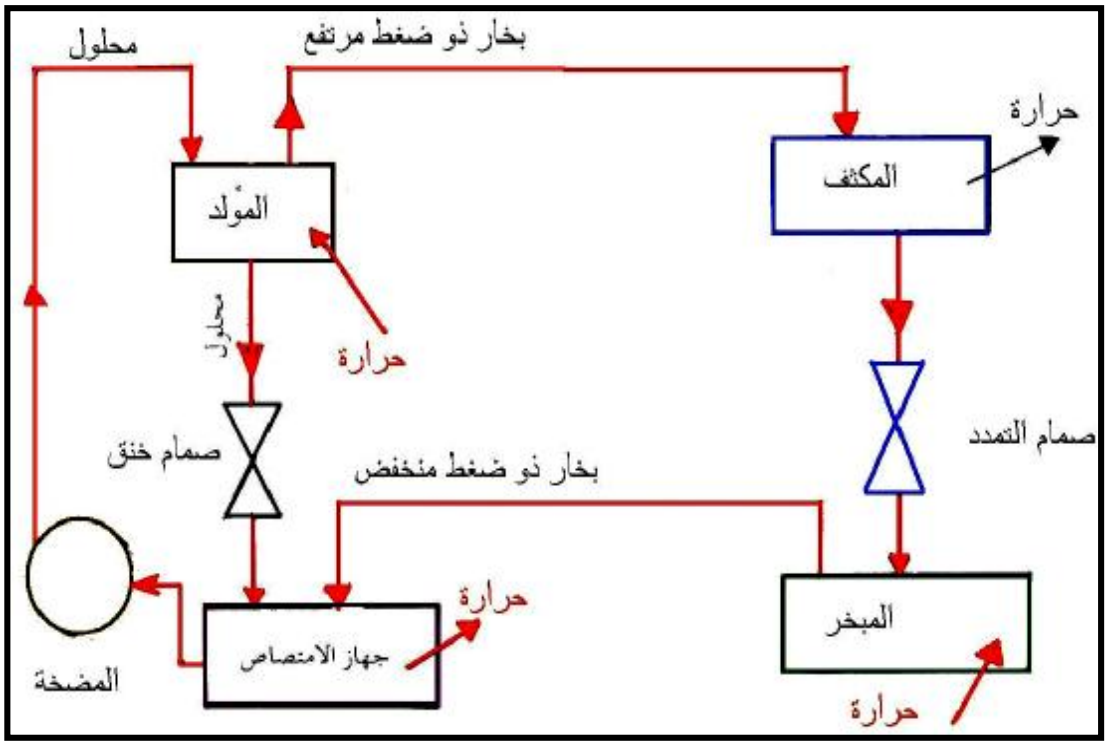
وهناك عدة أنواع من آلات التبريد بالإمتصاص منها ما يعمل بوجود مضخة كما فى آلة التبريد بالإمتصاص مع ضاغط بخارى والتى تستعمل حين تكون درجة حرارة المنبع الحرارى للمولد منخفضة .

تستخدم دورات التبريد بالإمتصاص التى تعمل من دون مضخة فى البرادات المنزلية والمكيفات، وتمتاز هذه الآلات بعدم وجود أى أجزاء متحركة فيها، مما يساعدها على العملمدداً طويلة من الزمن دون الحاجة إلى أى صيانة تذكر .

ويمكن استخدام نظام التبريد بالإمتصاص لسعات تبريد تتراوح بين ١٠٠ وات للثلاجات المنزلية وثلاجات الرحلات وسعات كبيرة تصل إلى حوالى ٣٠٠٠ طن تبريد للعمليات الصناعية المختلفة.

دورة التبريد بالإمتصاص باستخدام مخلوط الآمونيا(النشادر) (R717) مع الماء:

الشكل (٧) التالى يوضح مكونات ونظرية عمل الدائرة



١- يتم تسخين مخلوط الماء والآمونيا فى المولد (Generator) فيتصاعد غاز الآمونيا الى المكثف (Condenser).

٢- يتحول غاز الآمونيا الى سائل فى المكثف ويتساقط الى داخل المبخر (Evaporator).

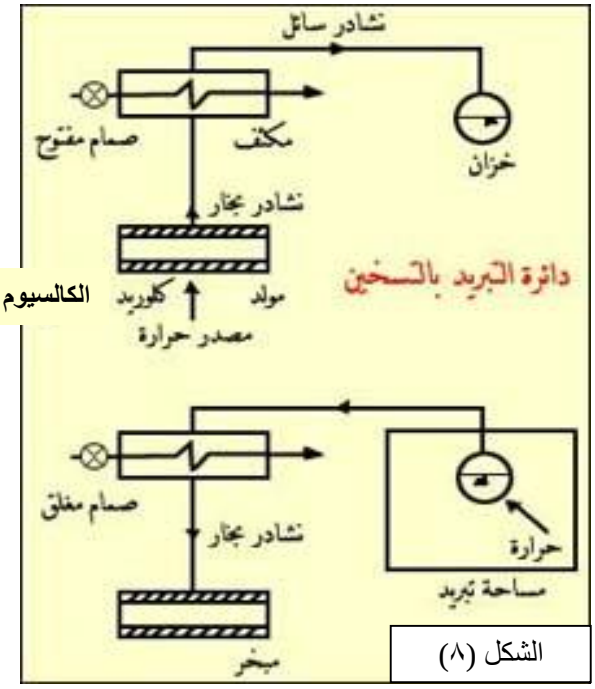
٣- يتحول سائل الآمونيا الى غاز ويمتص الحرارة من المبخر ومما حوله وبذلك نحصل على التبريد .

٤- يمتص الماء الموجود بالمبخر غاز النشادر ويصبح محلول ويتجه الى المولد.

٥- تكرر الدورة بتصاعد غاز الآمونيا مرة اخرى وهكذا.

أنظمة التبريد بالإمتصاص متقطعة الأداء (Periodic performance system)

يستخدم نظام التبريد بالإمتصاص المتقطع الآداء كلوريد الكالسيوم (Ca CL3) - وهو فى الحالة الصلبة- كمادة ماصة، والآمونيا (NH3) كمائع تبريد ، كما هو موضح بالشكل (٨)



الشكل (٨)

<u>وتعمل دورة التبريد على مرحلتين هما</u>:

١- عند تسخين كلوريد الكالسيوم الصلب والمشبع بالآمونيا تتبخر الآمونيا، ويسرى البخار خلال المكثف (Condenser) ؛ حيث تقل درجة حرارة الآمونيا، وتتحول من الصورة الغازية إلى الصورة السائلة، ويتم تجميع هذا السائل فى خزان(Reservoir) .

٢- أما الجزء الثانى من الدائرة فيبدأ عند وضع الخزان داخل المكان المراد تبريده،حيث يمتص سائل الآمونيا الحرارة من الوسط المحيط به، ويتحول بهذه الحرارة المكتسبة من سائل إلى بخار يسرى إلى المصاص، حيث يمتصه كلوريد الكالسيوم، وبالتسخين تدور الدائرة مرة أخرى.

والدائرة السابق توضيحها تعمل بطريقة متقطعة، وهو ما يجعلها منخفضة الكفاءة؛، ولهذا توجد دوائر تبريد أخرى بالإمتصاص تعمل بشكل مستمر، وتستخدم بالفعل فى الصناعة، ولكنها معقدة التركيب.

وكما هو واضح أيضًا أن دوائر التبريد بالإمتصاص لا تحتوى على أى أجزاء متحركة تحتاج إلى الكهرباء، بل إن العنصر الرئيسى للحركة هو الحرارة.

ومن عيوب دوائر التبريد بالإمتصاص أن كفاءتها منخفضة ومعقدة التركيب وكبيرة فى الحجم، ولكن العيب الأهم هو وجود غاز الآمونيا أو النشادر(NH3) ، وهو غاز سام، وهو ما يتطلب إشتراطات خاصه بالأمان أثناء التشغيل.

<u>حساب معامل الأداء لدائرة التبريد بالإمتصاص وتحسينه:</u>

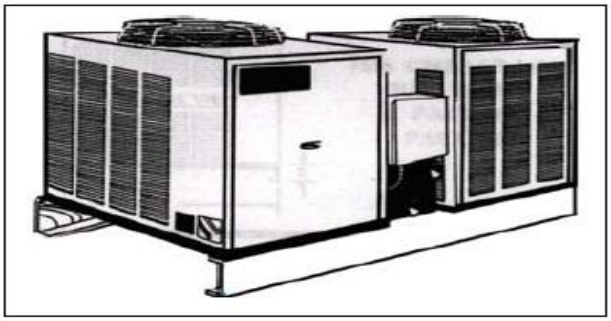
معامل الكفاءة = كمية الحرارة من المبخر/ كمية الحرارة اللازمة للمولد

ولتحسين معامل الآداء يجب تقليل كمية الحرارة اللازمة للمولد و زيادة كمية الحرارة من المبخر ويتم ذلك بتركيب مبادل حرارى بين (المضخة و صمام التمدد) و المولد.

كما يتم زيادة معامل الكفاءه أيضا عن طريق استخدام اكثر من مولد و هذا يعمل على فصل المادة الماصة من الفريون جيد و يتم استخدام اكثر من مبادل حرارى مما يقلل من الحرارة اللازمة للمولد.

نظام التكييف بالإمتصاص:

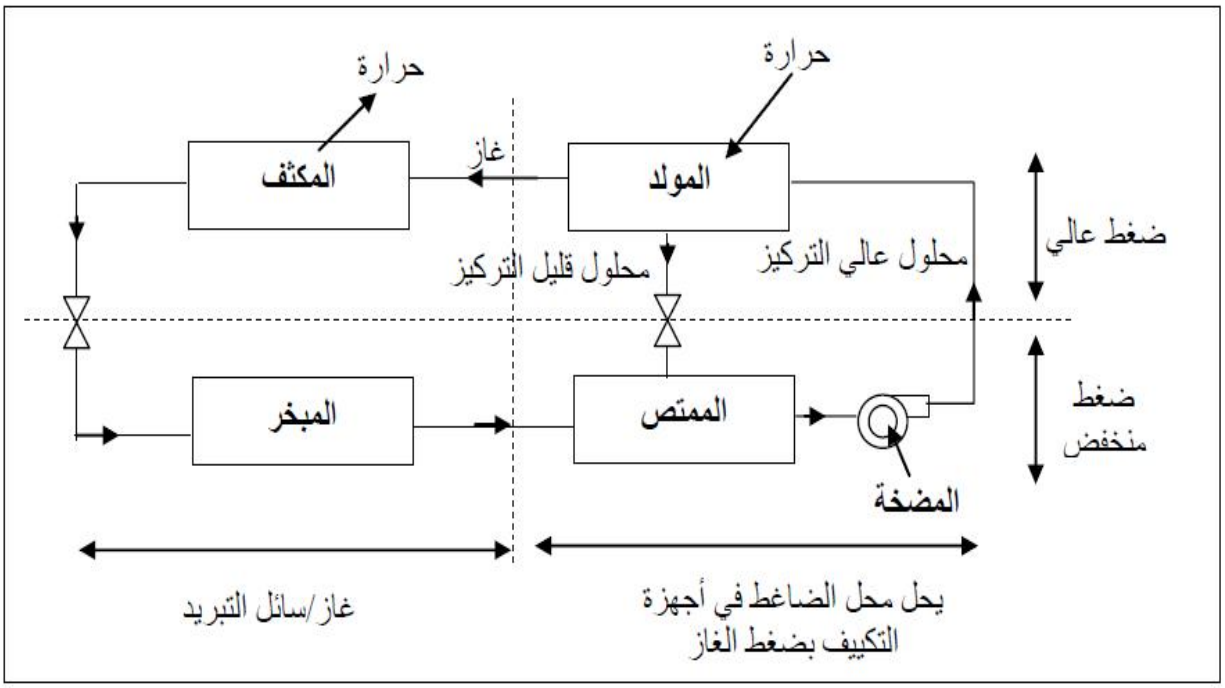
لم تحظ أجهزة التكييف بالإمتصاص بالإنتشار الواسع رغم الإكتشاف المبكر لها منذ عام ١٨٨٥ بألمانيا.
وتمتاز تلك الأجهزة بهدوئها التام لخلوها من الأجزاء المتحركة، ولكن أهم عيوبها هو تدنى كفاءتها مقارنة بنظم التكييف الأخرى .
والشكل التالى يوضح أحد أشكال هذه الأنظمة:



وتعتمد فكرة التبريد بالإمتصاص على وجود غاز للتبريد ووسط الإمتصاص كبديل عن الضاغط فى مكيفات الفريون.
وتوجد أنواع كثيرة لغاز التبريد ووسط الإمتصاص يمكن استخدامها لهذا الغرض إلا أن النشادر كغاز تبريد مع الماء كوسط امتصاص ، وبخار الماء كغاز تبريد مع بروميد الليثيوم كوسط امتصاص هى أشهرالأنواع وأكثرهاشيوعاً .

نظرية عمل ودائرة التبريد لمكيفات الإمتصاص:

الشكل التالى يوضح نظرية عمل ودائرة التبريد لأنظمة التكييف بالإمتصاص:



- عند مدخل المضخة يتجمع محلول (سائل) مركز من وسط الإمتصاص المشبع بغاز التبريد عند ضغط منخفض.
- يرتفع ضغط المحلول بعد ضخه للمولد عبر المضخة الواقعة بين المولد والممتص، ودور المولد هنا فصل غاز التبريد عن وسط الامتصاص، ويتم الفصل عن طريق تسخين المحلول المركز إلى درجة حرارة مناسبة يبدأ عندها غاز التبريد بالتبخر وينفصل عن وسط الامتصاص.
- بعدها ينتقل غاز التبريد إلى المكثف وينتقل وسط الإمتصاص قليل التركيز إلى الممتص عبر الصمام الذي يفصله عن المولد.
- يبرد غاز التبريد في المكثف حتى يتحول إلى سائل، ويتم تبريده باسخدام مراوح التبريد بالهواء الخارجي أو الماء.
- سائل التبريد النقي ينتقل من المكثف إلى المبخر عبر الصمام الفاصل بينهما فيتحول إلى غاز نتيجة نقص الضغط، مع هذا التحول تقل درجة حرارته ويستخدم في التبريد وذلك عن طريق تمرير الهواء الساخن فوق أنابيب المبخر.
- يلتقي غاز التبريد الخارج من المبخر بوسط التبريد قليل التركيز الخارج من المولد داخل الممتص، فيبدأ بامتصاص غاز التبريد ليكون محلول ذا تركيز عالي عند مدخل المضخة، وبذلك تستكمل دورة التبريد.

مميزات مكيفات الامتصاص:

- تتميز مكيفات الامتصاص بتوفيرها للطاقة الكهربائية حيث أن المضخة لا تحتاج إلى طاقة كهربائية كبيرة لرفع السائل من الضغط المنخفض إلى الضغط العالي، مقارنة بالضاغط في مكيفات الفريون .

مجالات تطبيق أجهزة التكييف بالامتصاص:

- توجد في الأسواق المحلية أجهزة التكييف بالامتصاص التي تستخدم الماء وبروميد اللثيوم نظراً لأن كفاءتها أعلى من أنظمة الامتصاص الأخرى حيث تصل إلى 0.9، كما تمتاز بإنخفاض درجة المولد التي تصل إلى 90 درجة سلسيوس، ولكن لها عدة عيوب مثل كبر الحجم، يتطلب تبريد أجزائها بالماء، وحدوث تبلور لبروميد اللثيوم، واحتمال تسرب الهواء إلى داخل الدائرة، لذلك فإن أفضل أماكن لاستخدامها هو الإستفادة من الطاقة الحرارية المهدرة في المصانع.
- لا تتوفر أجهزة التكييف بالامتصاص التي تستخدم الماء والنشادر في الأسواق المحلية نظراً لتدني كفاءتها حيث تصل إلى 0.6 ، والأضرار الصحية التي تصاحب استخدام غاز النشادر لذا يستلزم استخدامها في أماكن مفتوحة بالرغم من وجود بعض المزايا لهذا النظام مثل صغر حجمها، واستخدام الهواء لتبريد أجزائها.

٧- آلات التبريد الكهروحرارية

يمكن إنتاج الأثر التبريدى باستخدام المزدوجات الحرارية التى تتألف من مادتين من أنصاف الموصلات، تصل بينهما صفيحتان معدنيتان تشكلان قطبى المزدوجة الحرارية، وذلك بإمرار تيار كهربائى بينهما. وتعرف الآلات التى تعمل وفق هذا المبدأ بآلات التبريد الكهروحرارية التى تمتص فيها كمية من الحرارة فى القطب البارد (السالب)، وتنتشر كمية من الحرارة من القطب الموجب.

أهم تطبيقات التبريد الكهروحرارى:

١- تبريد وتكييف هواء الغواصات (Submarine) .
٢- تبريد وتكييف مركبات الفضاء (Space travelers)
٣- التحكم بدرجة حرارة الأجهزة الإلكترونية الصغيرة (Small electronic devices).
٤- تبريد المعدات العلمية (Lab instruments).

فكرة التبريد الكهروحرارى Thermoelectric Cooling

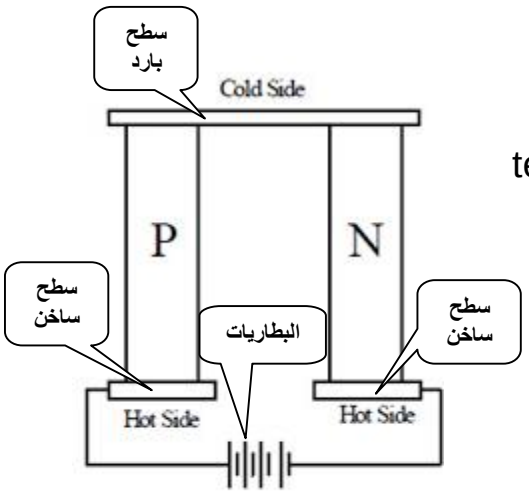
إن تحويل الحرارة مباشرة إلى طاقة كهربائية تحويلاً معكوساً يتم بثلاث ظواهر مترابطة هى:أثر سيبِك وأثر بِلْتِيه وأثر طومسون.

- أثر سيبك ويتعلق بتولد قوة محركة كهربائية (ق.م.ك) فى دائرة كهربائية مكونة من موصلين مختلفين فى درجتى حرارة مختلفتين.
- أثر بيلتيه ويرتبط بالحرارة المتولدة أو الممتصة فى وصلة موصلين مختلفين عندما يمر تيار كهربائى مستمر فى هذه الوصلة.
- أثر طومسون ويتصل بتولد الحرارة أو إمتصاصها فى موصل وحيد يمر فيه تيار مستمر وتتدرج فيه درجة الحرارة تدرجاً منتظماً .

ويستخدم أثر بيلتيه (Peltier effect) للازدوجات الحرارية فى التبريد الكهروحرارى .
و أثر بيلتيه ينص على (عند امرار تيار كهربى خلال دائرة مكونة من معدنين مختلفين تكون احدى الوصلتين باردة والأخرة ساخنة) .

وتتكون فكرة التبريد الكهروحرارى كما بالشكل المقابل من :

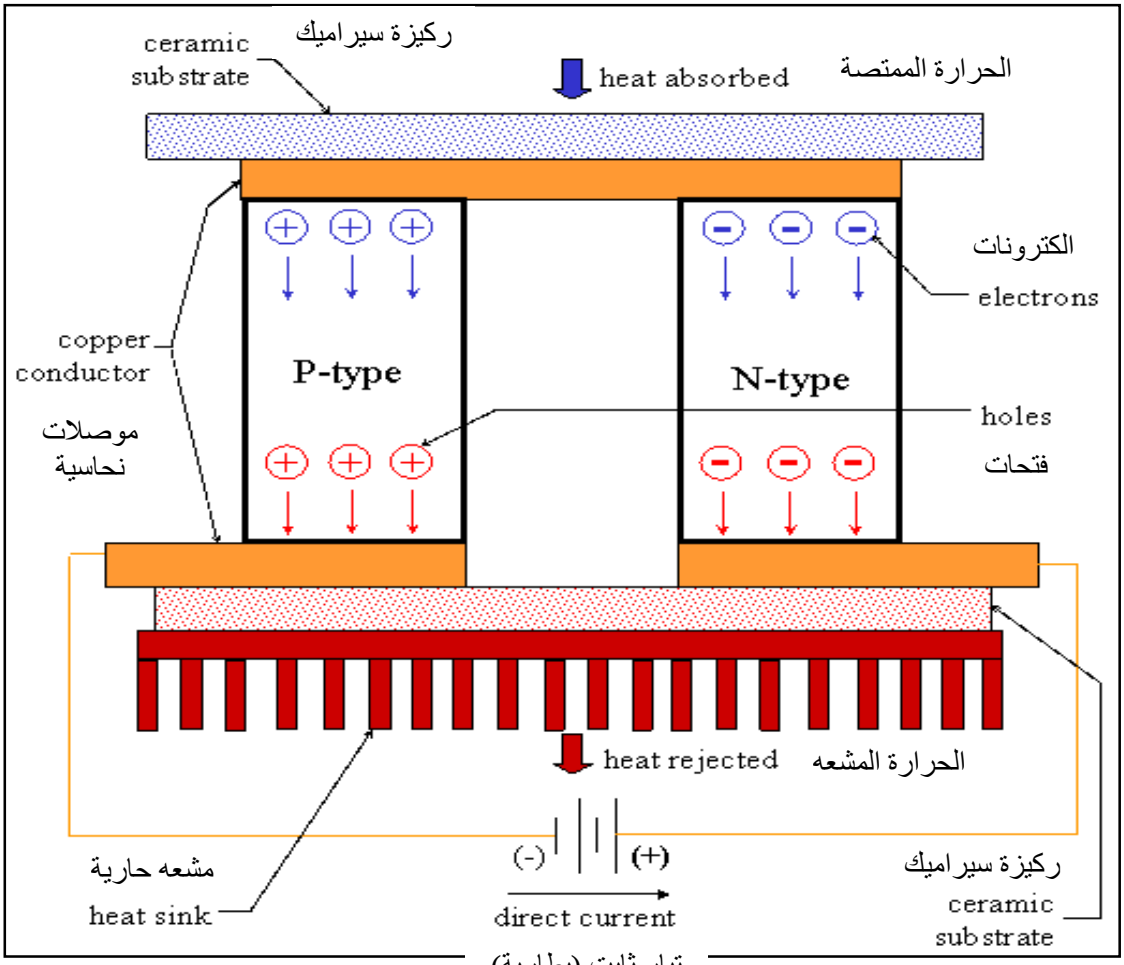
١- سبيكة موجبة (p) تتصل بالاقطاب الموجبة للبطاريات وتتكون من سبيكة من البيزموث bismuth والتليريوم tellurium والانتيمون antimony
٢- سبيكة سالبة (N) تتصل بالاقطاب السالبة للبطاريات و تتكون من سبيكة من البيزموث bismuth والتليريوم tellurium و السيلينيوم selenium
٣- مجموعة بطاريات



فكرة التبريد الكهروحرارى

تركيب ونظرية عمل دائرة أنظمة التبريد الكهروحرارى:

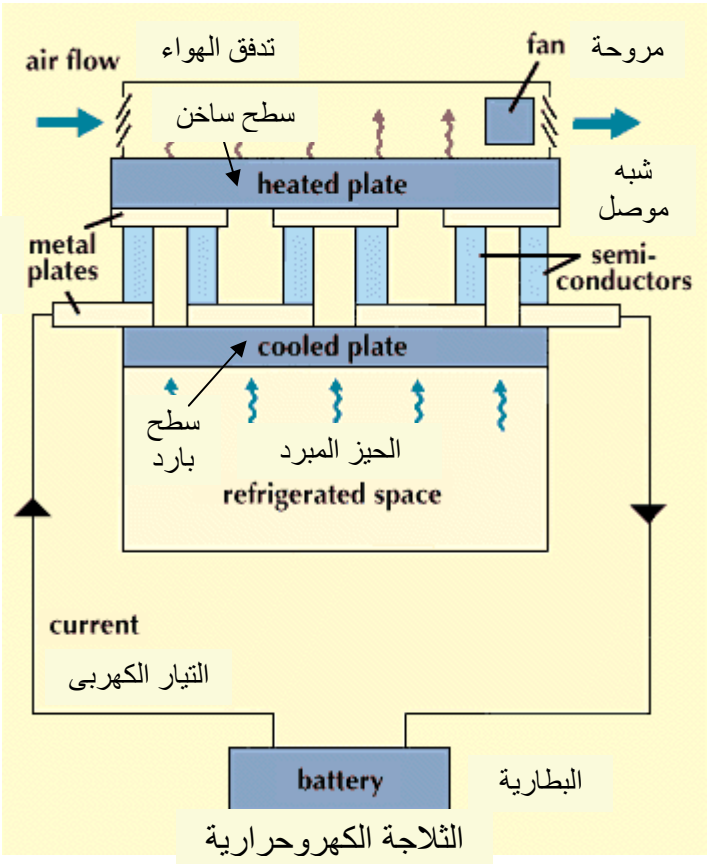
والشكل التالى يوضح تفصيلا لتركيب ونظرية عمل دائرة أنظمة التبريد الكهروحرارى:



الثلاجة الكهروحرارية (Thermo- electric Refrigerator):

تعد الثلاجة الكهروحرارية بحق ثلاجة عصر الفضاء و تعتمد فى عملها على علم المواد النصف موصلة (انصاف الموصلات) " SEMICONDUCTORS " ، كما هو موضح بالشكل التالى:

ويستفاد فى هذا النوع من الثلاجات بتأثير نظرية العالم " بلتير "حيث يعمل تيار كهربائى مستمر (DC) فى جزء إتصال بين وحدتين حراريتين مختلفتين إما على إمتصاص الحرارة أو إشعاعها و ذلك حسب إتجاه مرور التيار فإذا كان مرور التيار يكون باردا (و يعمل على إمتصاص الحرارة) و جزء الإتصال يكون ساخنا و يشع الحرارة.



وتستعمل مواد أنصاف الموصلات فى صناعة الوحدات الحرارية المستعملة فى هذا النوع من الثلاجات ويوجد نوعان من هذه المواد يعرفان بالنوع السالب (N- TYPE) والنوع الموجب (P-TYPE) .

وتستعمل مادة البزموث تللوريد فى الوقت الحاضر كمادة نصف موصلة فى صناعة الوحدات الحرارية والنوع السالب منها يشتمل علي كمية أزيد قليلا من التليريوم لإحداث اليكترونات مرة أو حاملات شحنة سالبة والنوع الموجب يصنع من مادة بزموث تللوريد و تشتمل علي كمية أزيد قليلا من البزموث لأعطاء حاملات شحنة موجبة أما جزء الإتصال فيصنع من الألومنيوم المغطى بطبقة من النيكل .

وتتركب المجموعة الكهروحرارية من عدد من مزدوجات الوحدات الحرارية المختلفة توصل كهربائيا بعضها مع بعض بالتوالى فنجد جميع أجزاء الإتصال الباردة فى أحد الأوجة وجميع أجزاء الإتصال الساخن فى الوجة الاخر.

مميزات الثلاجة الكهروحرارية عن الثلاجات الكهربائية :

١- لايوجد بها أجزاء ميكانيكية متحركة وبالتالى فلا يكون لها أصوات بالمرة.

٢- لاتحتاج الى مواسير لمرور مركب التبريد بداخلها لهذا يكون تركيبها بسيط وحجمها صغير.

٣- يمكن تغيير سعة التبريد الممكن الحصول عليها من هذه الثلاجات بتغيير عدد وحدات المزدوجات المستعملة.

٤- يمكن الحصول على عملية التبريد أو التسخين بها بتغير إتجاه مرور التيار فقط وبذلك لاتحتاج الى مسخنات خاصة لاذابة الثلج .

عيوبها:

١- إرتفاع ثمن المواد الكهروحرارية.

٢- المزدوجات الكهروحرارية ليس لها القدره على تحمل الإجهادات الميكانيكيه.

٣- عدم إمكانية صناعتها بأحجام كبيرة حاليا.

الباب الثالث : المضخات الحرارية

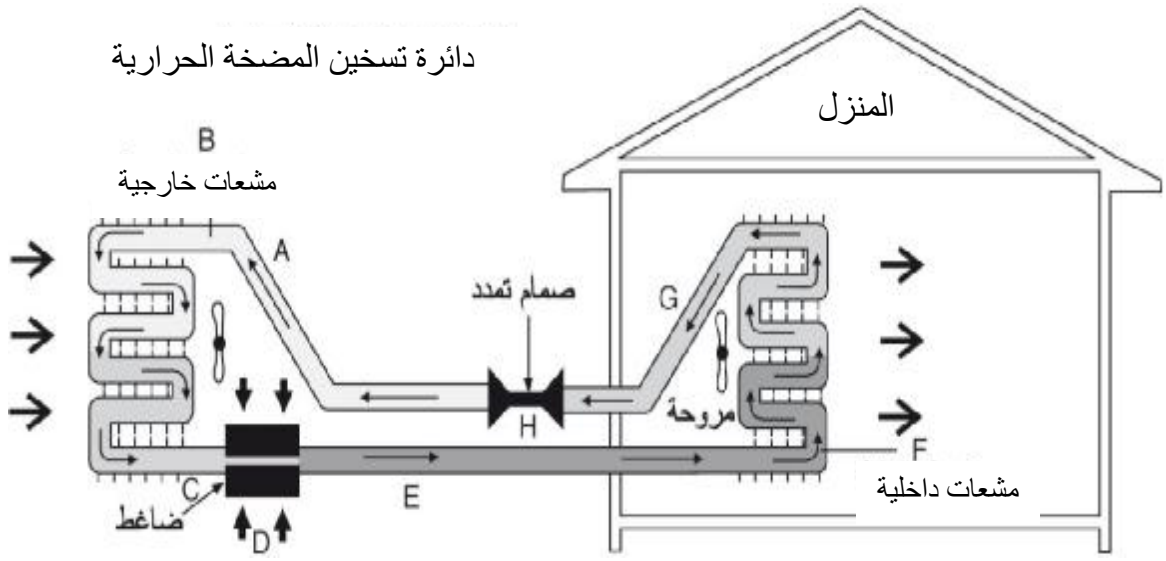
Thermal Pumps

المضخة الحرارية: Heat Pump :

هىآلة حرارية تقوم بنقل الحرارة من الوسط البارد إلى الوسط الساخن نسبياً .
وتشبه المضخة الحرارية المكيف التقليدى للهواء لكنها تستطيع إنتاج الحراره قى درجات الحراره المنخفضه (فىالشتاء مثلاً).
ففى الشتاء تقوم المضخة الحرارية بإستخلاص الحرارة من الجو الخارجى وتبثها داخل المنزل، أما فى الصيف فإنها تقوم بنقل الحرارة من داخل المنزل وطرحها خارجه.
وتعمل المضخةالحرارية جيداً ما دامت درجة حرارة الجو الخارجى أعلى من الصفر سليسيوس.
وعندما تنخفض درجة الحرارة أكثر من ذلك تقتضى الحاجة إلى حرارة مساعدة.
والمضخة الحرارية تتمكن من توفير نسبة تراوح بين ٣٠ - ٦٠ % من الطاقة الكهربائية اللازمة لتأمين الكمية نفسها من الحرارة عن طريق السخانات الكهربائية ذات المقاومة.

نظرية عمل المضخة الحرارية:
تشبه كثيراً مبدأ عمل المبرد فوسيط التشغيل (refrigerant) مائع طيار يتبخر (يغلى) عند درجات حرارة منخفضة ، ويدور هذا المائع فى أنابيب تنقله عبر المضخة الحرارية فى دائرة مغلقة.

دائرة تبريد المضخة الحرارية:
يبين الشكل التالى آلية عمل المضخة الحرارية فى حالة التدفئة



المخطط العام لدائرة تبريد المضخة الحرارية

عند النقطة (A)يكون وسيط التشغيل مائعاً بارداً ، درجة حرارته أقل من درجة حرارة الجو الخارجى، وعند مروره عبر المشعات الخارجية (outdoor coil) عند النقطة (B) التى هى عبارة عن مبادل حرارى (heat exchanger) ذى سطح تبادل كبير يمتص الحرارة اللازمة لتحوله الطورى من مائع الى بخار من الوسط الخارجى فيتبخر، ويسمى المبادل الحرارى فى دائرة لتدفئة بمشعات المبخر (evaporator coil).
وعند النقطة (C)يكون وسيط التشغيل بارداً ولا يستطيع تدفئة المنزل، وهذا يستدعى إستخدام الضاغط

compressor (النقطة D) الذى يرفع ضغط الغاز، مما يجعل درجة حرارته ترتفع، ويدفعه بإتجاه المنزل (النقطة E).
يقوم الضاغط بدور القلب فى المضخة الحرارية، وفى المشعات الداخلية (indoor coil) عند النقطة (F) يقوم وسيط التشغيل بتقديم الحرارة إلى الهواء داخل المنزل.
وتقوم مروحة بدفع الهواء باتجاه المشعات الداخلية لتوزيع الحرارة فى المنزل، وهذا يؤدى إلى تبريد وسيط التشغيل لدرجة يتكاثف معها الحجمالأعظم منه متحولاً إلى سائل.
لذا تسمى المشعات الداخلية بالمكثف (condenser coil) فى حالة التدفئة، ويؤدى ذلك إلى توفير كمية كبيرة من الطاقة فى المنزل.
ويتابع المزيج الدافئ عند النقطة (G) من السائل والغاز الدورة ليدخل جهاز التمدد (expansion device)، عند النقطة (H)، الذى يقوم بتخفيض ضغط المزيج ليكونباردا ً على نحو كافٍ لإمتصاص الحرارة من الجو الخارجى ومتابعة الدورة من جديد.

فوائد المضخة الحرارية:

إن الفائدة الرئيسية للمضخات الحرارية الكهربائية أنها عالية الكفاءة جدا (إقتصادية) من حيث الطاقة.
فمن الشروط البسيطة للمضخة الحرارية أنها تستهلك قليلا جدا من الطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيلها، وذلك مقارنة بكمية الطاقة التى تنتجها على شكل حرارة.

التكييف بالمضخة الحرارية:

فى هذه الحالة تكون الدورة المبينة فى الشكل السابقمعكوسةً تماماً ، فتقوم المضخة بسحب الحرارة من الوسط الداخلى وطرحها فى الوسط الخارجى، ولهذا الغرض تزود المضخة الحرارية بصمام عاكس (reversing valve) لعكس جهة تدفق وسيط التشغيل.

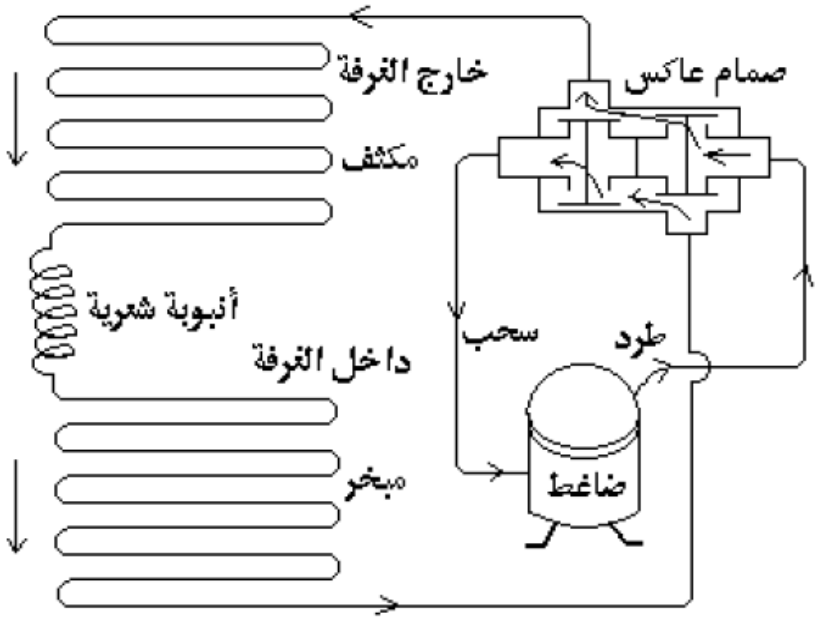
الأنواع الرئيسة للمضخات الحرارية:

تصنف المضخات الحرارية بحسب المصدر الخارجى للحرارة كالأتى:

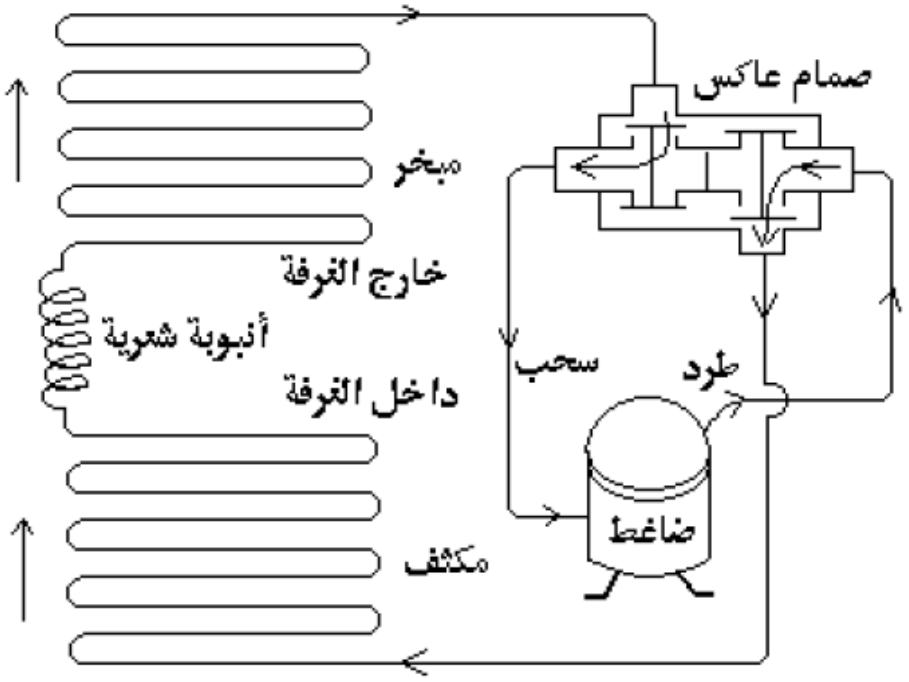
- مضخات تستخدم الهواء الخارجى (air-to-air heat pumps)
- مضخات أخرى تستخدم مياه الآبار (water source heat pumps)
- مضخات ثالثة تستخدم حرارة التربة على أعماق مناسبة (ground source heat pumps) والنوعين الأخيرين شائعى الإستخدام.

والأشكال التالية توضح دوائر تبريد لبعض الأنواع الشائعة الأستخدام من المضخات الحرارية:

دوائر تبريد لبعض الأنواع الشائعة الإستخدام من المضخات الحرارية:



مضخة حرارية تستعمل كنظام تبريد بإستخدام صمام آلى أربع اتجاهات



مضخة حرارية تستعمل كنظام تسخين بإستخدام صمام آلى أربع اتجاهات

حساب معامل الأداء للمضخة الحرارية: (Coefficient of operation)

معامل الأداء= $\frac{\text{كح}_{\text{ء}}}{\text{الشغل}}$ ، الشغل (تدفئه) = $\text{ك}_{\text{صـ}} - \text{ك}_{\text{ء}}$ ، الشغل (تبريد) = $\text{ك}_{\text{ء}} - \text{ك}_{\text{صـ}}$

حيث:
- الشغل: هو الشغل اللازم لأداء ضاغط المضخة الحرارية.
- $\text{كح}_{\text{ء}}$: كمية الحرارة (المضافة/المسحوبة) للحيز.
- $\text{ك}_{\text{صـ}}$: درجة حرارة الغرفة.
- $\text{ك}_{\text{ء}}$: درجة حرارة الجو الخارجى.

مثال (١):
احسب اقل معدل ممكن من الشغل اللازم لمضخة حرارية تستخدم لتدفئة غرفة درجة حرارتها ١٧ ° م ، إذا كانت درجة حرارة الجو الخارجى -١٣ ° م ، ومعدل كمية الحرارة المضافة إلى الغرفة تساوى ٣٠ كيلوواط

الحـــل:

$\text{ك}_{\text{صـ}}$= ١٧°م + ٢٧٣ = ٢٩٠ ° كلفن ، $\text{ك}_{\text{ء}}$ = -١٣ °م +٢٧٣ = ٢٦٠ °كلفن ، $\text{كح}_{\text{ء}}$= ٣٠ كيلوواط

معامل الأداء = $\frac{\text{كح}_{\text{ء}}}{\text{الشغل}} = \frac{\text{كح}_{\text{ء}}}{\text{كح}_{\text{ء}} - \text{كح}_{\text{صـ}}} = \frac{٢٩٠}{٢٩٠ - ٢٦٠} = ٩.٦٦٦٧$

∴ الشغل = $\frac{\text{كح}_{\text{ء}}}{\text{معامل الأداء}} = \frac{٣٠}{٩.٦٦٦٧} = ٣.١$ كيلو واط

مسألة للتدريب:
تقوم آلة حرارية بتبريد غرفة فى فصل الصيف بحيث تسحب كمية من حرارة الغرفة بمعدل٢٠ كيلو واط ، فإذا كانت درجة حرارة داخل الغرفة ٢٢° م ، ودرجة الحرارة خارج الغرفة ٤٧° م ، فاحسب معدل الشغل المطلوب.

الباب الرابع :
إستخدام الطاقة الشمسية
فى مجالات التبريد والتكييف

The use of solar energy
in the fields of refrigeration and air conditioning

مقدمة:

الطاقة الشمسية:

تعد الطاقة الشمسية أهم مصادر الطاقة على الكرة الأرضية رغم أن فيض الإشعاع الشمسى خارج المجال الجوى للكرة الأرضية يصل إلى ١٣٧٦ كيلووات/متر مربع ، وينخفض إلى حوالى ١ كيلووات/متر مربع على سطح الأرض فى وقت الظهيرة وفى يوم صحو، حيث تكون الأشعة الشمسية عمودية على سطح الأرض، وتنخفض عن ذلك بقية ساعات النهار.

ويتكون الإشعاع الشمسى الكلى الذى يصل الكرة الأرضية من مركبتين:

الأول: هو الإشعاع المباشر الصادر عن الشمس نفسها وهذه المركب يمكن تركيزه بواسطة العدسات أو المرايا التى يمكن أن تُصمم بحيث تتبع مسار الشمس تتبعاً كاملاً على مدار العام، أو تكون ذات ميل ثابت يمكن تغييره دورياً على حسب فصول السنة.

الثانى: هو الإشعاع المتشتت ومصدره القبة السماوية وهذا المركب لا يمكن تركيزه وحينما تكون السماء صافية فإن هذه المركب يمثل حوالى ١٥% من الإشعاع الكلى ولكن نسبته تزيد عن ذلك فى المناطق التى تغطيها السحب.

ومن بين آلاف تطبيقات الطاقة الشمسية إستخدامها للتبريد وتدفئة المبانى لأنه و بكل بساطة أحد القطاعات الأكثر إستهلاكاً للطاقة الكهربائية ، وخاصة التكييف المركزى فهو بالوعة كهربائية حيث تصل حاجته إلى ما يقرب الـ ٥٠٠٠ واط / ساعة وأكثر وذلك طبقا للمساحات والأنظمة المختلفة.

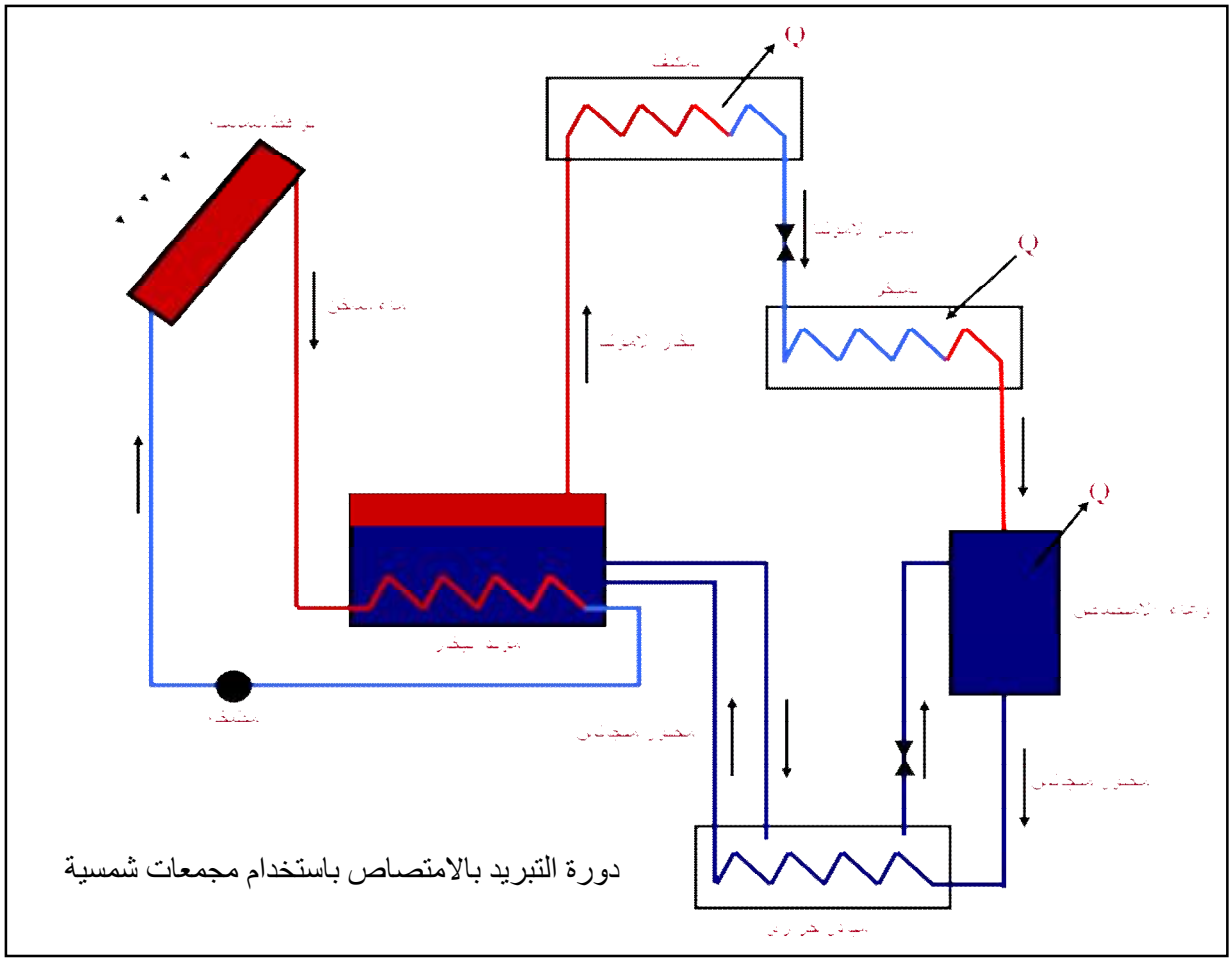
و تطبيقات الطاقة الشمسية فى مجال التبريد والتكييف هى عبارة عن تكنولوجيا حديثة ومتطورة وصديقة للبيئة وذلك بإستخدام الطاقة الحرارية للشمس لتدفئة الهواء حيث يتم فيها إلتقاط الطاقة من الشمس (الإشعاع الشمسى)، بواسطة وسط ماص للأشعة الشمسية حيث تستخدم الطاقة الممتصة لتسخين الهواء ، ويستخدم جهاز يسمى مجمع الطاقة الشمسية الحرارية لتجميع ضوء الشمس.

وتعتبر تلك التكنولوجيا مقارنة بالوسائل الأخرى أفضل وأرخص الوسائل المستخدمة فى تدفئة الهواء وخاصة فى التطبيقات الصناعية والتجارية.

وسوف نقوم بشرح مثالين لتطبيقات الطاقة الشمسية أحدهما إستخدامها للتبريد والآخر للتدفئة:

١- آلات التبريد بالإمتصاص بإستخدام المجمعات الشمسية:

تعرف آلات التبريد الإمتصاصية بأنها الآلات التى تعمل عن طريق تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة تبريد حيث يتم فيها نقل الحرارة من الوسط المبرد ذى درجة الحرارة المنخفضة إلى الوسط الخارجى ذى درجة الحرارة المرتفعة عن طريق صرف طاقة حرارية فى حين يتم فى آلة التبريد الضاغطة البخارية صرف قدرة ميكانيكية ، وقد تم تطوير آلات التبريد بالإمتصاص بإستغلال الطاقة الشمسية كمصدر للحرارة المكتسبة.
و يتم ذلك بإستخدام مصفوفة مجمعات شمسية مستوية مخصصة لتسخين السوائل فى إنتاج كمية الطاقة الحرارية اللازمة لوحدة التبريد الإمتصاصى، ويستخدم فى هذه الآلة مائعا تشغيل على الأقل وهما وسيط التبريد والمادة الماصة له.
ولقد إنتشر فى الوقت الحاضر إستعمال آلات التبريد العاملة على الماء مع الآمونيا أو الليثيوم.
ويبين الشكل التالىمكوّ نات آلة التبريد بالإمتصاص التى تعمل على الماء و الآمونيا و اللواقط الشمسية:



دورة التبريد بالامتصاص باستخدام مجمعات شمسية

مكونات الدائرة:

١- المولد Generator.
٢- المكثف Condenser.
٣- المبخر Evaporator.
٤- وعاء الإمتصاص Absorber.
٥- صمام التمدد Expansion valve.
٦- لواقط شمسية Solar heaters.

نظرية العمل:

١- يتم تسخين مولد البخار بواسطة الماء الساخن القادم من مجمع الماء المسخن فى دائرة اللواقط الشمسية. ويتكون مولد البخار من وعاء يوجد بداخله أنابيب مصنعة من النحاس أو الأستانلس ستيل يمر فيها الماء المسخن، إن أقل درجة حرارة مسموح بها ضمن المولد لتأمين تبخر وسيط التبريد هى٥٠ درجة مئوية.

٢- يوجد داخل المولد خليط مكون من محلول الماء والآمونيا فترتفع درجة حرارة المحلول داخل المولد نتيجة لتسخينه وتصل درجة الحرارة إلى درجة الغليان للآمونيا.

٣- تتدفق الآمونيا بعد تبخرها إلى الأعلى حيث المكثف "Condenser " المكون من ألواح رقيقة من المعدن لتفقد الآمونيا حرارتها بالتكثيف ويتحول إلى سائل وبعدها يتوجه السائل إلى صمام التمدد لينخفض ضغطه.

٤- يصل سائل الآمونيا إلى المبخر" Evaporator" حيث يتبخر وينتج عن ذلك انخفاض فى درجة الحرارة داخل الوسط المراد تبريده.

٥- بعد ذلك يتوجه البخار الناتج إلى وعاء الإمتصاص ليتم امتصاص بخار وسيط التبريد من قبل المحلول الغنى (القادم من المولد والمار عبر صمام تمدد لتخفيض ضغطه وعبر مبادل حرارى) وتنتج عن عملية الإمتصاص كمية من الحرارة تطرح إلى الخارج.

٦- وتشكل الآمونيا مع الماء محلول متجانس ويتدفق كلا من الآمونيا والماء إلى المولد مرة أخرى لتعيد نفس الدورة.

مميزات آلات التبريد بالإمتصاص بإستخدام المجمعات الشمسية

١- البساطة فى التركيب .

٢- الهدوء وعدم وجود أصوات لعدم وجود أى أجزاء متحركة (مثل أصوات عمل الضاغط وغيرها) .

٣- العمل لمدة طويلة من الزمن دون الحاجة إلى صيانة أكثر من الصيانه الروتينية .

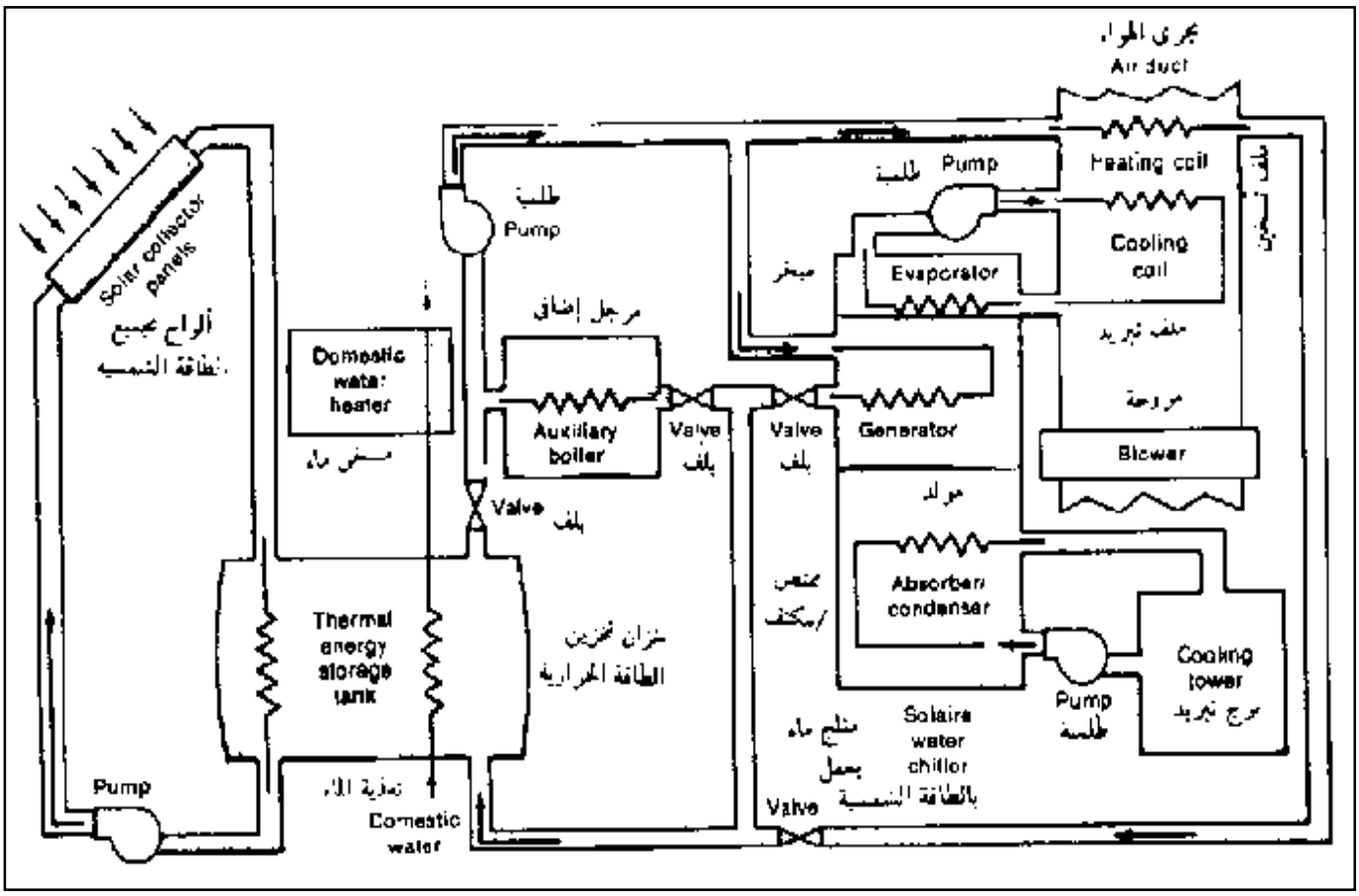
٤- سهلة التركيب سواء فى المنازل أو المصانع أو المزارع.

٥- صديقة للبيئة فلا ينبعث منها أى ملوثات، ولا يصدر منها أى أصوات.

٢- آلات التدفئه بالإمتصاص بإستخدام المجمعات الشمسية:

الشكل التالى يبين دائرة نموذجية لعملية تدفئة وتبريد تعمل بالطاقة الشمسية ، موضح بها الأجزاء المختلفة التى تشتمل عليها ، أهمها ألواح تجميع الطاقة الشمسية التى تستخدم كمصدر رئيسى للحصول على طاقة نظيفة وآمنة.

هذا وعند الحاجة إلى عملية التبريد ، فإن دائرة الماء المثلج (Chilled Water) تعمل داخل لفة مغلقة بين ملف المروحة ومثلج الإمتصاص.



وعند الحاجة إلى عملية التدفئة ، فإن ذلك يعمل على تغيير وضع بلف التسخين – الى التبريد ، وبذلك تقوم الطلمية بسحب الماء مباشرة من خزان العملية ، وذلك يؤدى إلى إزاحة الماء المثلج وإدخال ماء دافىء إلى وحدة ملف المروحة.

ولقد أتاحت هذه الطريقة إلى استعمال ملف ماء واحد داخل مجارى الهواء المكيف الخاص بالمسكن ، وكذلك بلف تحويل ثلاث سكك (Three - way diverting valve) وذلك لتحويل تشغيل العملية من التدفئة إلى التبريد.

ويعمل بلف التشغيل الثانى كمنظم للحمل فعندما ينخفض حمل العملية ، فإن درجة حرارة الماء المثلج تميل إلى الهبوط ، ومن أجل منع حدوث تذبذب (سيكله – Cycling) فى عمل مثلج الماء (chiller) فإن سريان ماء المولد (Generator) الساخن يتم تهريبه (By – passed) نتيجة لدرجة حرارة الماء المثلج.

هذا ويتم ضبط عمل الوحدة أتوماتيكيا وذلك لتناسب حمل المكان المكيف حتى تنخفض إلى حوالى سعة الوحدة ممال يؤدى إلى الحصول على أحسن خواص عمل لها.

الباب الخامس : خواص الهواء والتهوية الصناعية

Properties of air and Industerial ventilation

الهواء الجوى Atmospheric Air:

مقدمة:

الهواء الجوى يتكون من مجموعة من الغازات أهمها غازات الأكسجين والنيتروجين وثانى أكسيد الكربون وبخار الماء ، ونسبة الأكسجين فى الهواء تمثل عاملا هاما فى الحياة وراحة الإنسان فإن نقصها أو زيادتها يسبب اختلالا فى التنفس مما يسبب مضايقة وضعف النشاط وقد يؤدى إلى أضرار أكبر فى حالة تغيير النسبة بقيم كبيرة . ولذلك فإنه يجب الإحتفاظ بنسبته فى الحدود المسموح بها، والرطوبة الموجودة فى الهواء لها تأثير كبير على الإنسان ، وفى كثير من الصناعات تكون لنسبة بخار الماء تأثير على مستوى جودة الإنتاج ودقة التشغيل ، كما أن درجة حرارة الهواء الجوى تؤثر على معدلات إنتقال الحرارة من الجسم .

مكونات الهواء الجوى

خليط من الغازات المختلفة، أهم مكوناته النتروجين بنسبة ٧٨ % والأكسجين بنسبة ٢١ %، والباقى كمية من بخار الماء ومن غازات عديدة منها ثانى أكسيد الكربون وغاز الأرجون وغاز النيون والهليوم.

غير أن الأكسجين هو أهم شىء بالنسبة لحياة الكائنات على الأرض وهو جسم غازى ثنائى الذرة يتكون عندما يتفاعل مع تأثيرات الضوء خاصة فى المناطق الإستوائية، ثم توزعه الريح على كامل مناطق الكرة الأرضية، وتتغير نسب الغازات المختلفة من مكان لآخر على الكرة الأرضية .

كما يحتوى الهواء أيضا على كمية من الكائنات الحية بعضها ضار (الجراثيم) كما يحتوى الهواء أيضا على كمية من الغبار والأتربة.

وعند وجود بخار ماء فى الهواء الجوى يعتبر الهواء رطبا (Moist Air) وتشكل جميع الغازات الأخرى مايسمى بالهواء الجاف (Dry Air).

خواص الهواء

- الهواء غاز لا لون ولا طعم ولا رائحة له.
- الهواء ليس له شكل معين فهو يأخذ شكل الوعاء الذى يحويه.
- الهواء قابل للإنضغاط .
- الهواء له كتلة.

عندما نأخذ كرة منتفخة ونزنها ثم نفرغها من الهواء ونعيد وزنها نلاحظ أن كتلتها وهى منتفخة أكبر من كتلتها وهى فارغة من الهواء فنستنتج أن الفارق بينهما هو وزن كتلة الهواء.

- الهواء قابل للإنتشار.

إذا وضعنا فوهة بالونة غير منفوخة فى فوهة بالونة منفوخة، نلاحظ انتقال كميّة من الهواء من البالونة المنفوخة إلى البالونة الأخرى، فنستنتج أن الهواء قابل للانتشار.

- يتمدد الهواء بمفعول الحرارة ويتقلص بمفعول البرودة.

عندما نغطى فوهة قارورة ببالونة ونضعها فى حوض مملوء بالماء ثم نسخنه، نلاحظ انتفاخ البالونة لأن تأثير حرارة الماء الموجود فى الحوض نتج عنه صعود الهواء إلى أعلى ممّا يساعد على انتفاخ البالونة.

- الهواء عازل للكهرباء.
- الهواء البارد أثقل من الهواء الساخن .

والدليل على ذلك أنه ببرودة الهواء بواسطة الثلج يسقط إلى قاع الثلاجة.

قياس درجة حرارة الهواء الجوى:

درجة حرارة الهواء ممكن قياسها بعديد من الدلائل كالآتى :

١- درجة الحرارة الجافة Dry Bulb Temp.t

وهى درجة الحرارة المقاسة بواسطة ترمومتر يكون انتفاخه جافا.

٢- درجة الحرارة الرطبة Wet Bulb Temp.tw

وهى أقل درجة للحرارة تقاس بواسطة ترمومتر إنتفاخه مبلل خفيفا بالماء ونتيجة لتبخر الماء من سطح إنتفاخ الترمومتر تنخفض درجة الحرارة وتكون دائما أقل من درجة الحرارة الجافة كنتيجة لتبخر الماء .

٣- درجة التندي Dew Point Temp.t

وهى درجة الحرارة التى يبدأ عندها بخار الماء الموجود فى الهواء فى التكثف .

وتقاس بوضع ترمومتر فى إناء به ماء ويبرد الماء تدريجيا حتى يلاحظ تكثف جزئيات من الماء على سطح الإناء الخارجى.

الرطوبة: هى كمية بخار الماء الموجود فى الهواء وتقاس بأى من الوحدات الآتية :

١- الرطوبة النوعية: (X) Specific Humidity (humidity ratio) :

وتقدر بكمية بخار الماء الموجود فى الهواء الجاف .

وتحدد من المعادلة الآتية :

(X) = وزن بخار الماء / وزن الهواء الجاف

ويقاس وزن بخار الماء بالجرام فى النظام المترى والجرين فى الإنجليزى (الرطل يساوى ٧٠٠٠ جرين).

بينما يقاس وزن الهواء الجاف بالكيلو جرام والرطل .

٢ - الرطوبة النسبية (Relative Humidity) :

وهى نسبة ضغط بخار الماء الموجود فى الهواء بالنسبة لضغط التشبع عند نفس الظروف.

وتقاس بنسبة مئوية أو كسور عشرية ، والرطوبة النسبية هى المؤثر الفعال بالنسبة لاحساس الإنسان بارتفاع أو انخفاض الرطوبة وتتأثر بدرجة حرارة الهواء الجوى .

وعند زيادة الرطوبة النسبية يقل معدل تبخر العرق من سطح الجلد وبذلك يقل خروج العرق من داخل جسم الإنسان مما يسبب ترسيب الأملاح داخل الجسم.

وإنخفاض معدل الرطوبة عن الحد المسموح به يؤدى إلى جفاف الحويصلات الهوائية والجلد وبالتالى إلى الآم فى التنفس وتشقق الجلد.

الإنثالبى : Enthalpy (I)

عند حساب الحمل الحرارى اللازم لعمليات تكييف الهواء فلا بد من معرفة كمية الطاقة الحرارية الكلية فى الهواء بالنسبة لوحدة الأوزان وهى ما تمسى بالانثالبى .

وتقاس بالوحدات الحرارية لكل وحدة وزن للهواء الجاف وتقاس فى النظام الانجليزى بوحدة حرارية بريطانية لكل رطل هواء جاف (و.ح.ب/ رطل) أو الكيلو سعر لكل كيلو جرام هواء جاف (كسعر/كجم) .

(الوحدة الحرارية البريطانية هى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة رطل واحد من الماء درجة واحدة فهرنهايت - الكيلو سعر هو كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة كيلو جرام من الماء درجة واحدة مئوية).

التهوية الصناعية Industrial Ventilation

ماهو الفرق بين تكييف الهواء والتهوية الصناعية ؟

اولا: تكييف الهواء Air Conditioning :

حيث أن تكييف الهواء أكثر تكلفة من التهوية لأنه يحتوى على التهوية ضمنيا و كذلك على تنظيف الهواء والتحكم في درجة حرارته حسب الوضع المطلوب (heating or cooling) و التحكم فى درجة رطوبة الهواء حسب الوضع المطلوب (drying or humidifying) وبذلك يمكن انتاج اى نوع من الهواء نرغب في وجوده في حيز التكييف.

و لكن ذلك مكلف جدا و بالخصوص فى الأماكن الصناعية التى تحتوى على معدات و أشخاص بأعداد كبيرة.

و لذلك فإننا فى نلجا المنشات الصناعية لعمل تهوية فقط.

ثانيا: التهوية Ventilation:

تعتمد التهوية على تغيير حجم الهواء الموجود فى الحيز كل فترة زمنية ثابتة وليكن كل ساعة عن طريق إستخدام مراوح (Fans) للتحكم فى دخول وخروج الهواء فقط دون التحكم فى درجة حرارة الهواء ومن الممكن أن نقوم بتنقية الهواء بإستخدام الفلاتر (filters) و بذلك نكون قد خفضنا التكلفة عن إستخدام تكييف الهواء.

تحتوى أى منشاة صناعية على العديد من المعدات والآلات التى تستخدم فى تحويل صور الطاقة المختلفة من صورة إلى أخرى ، مثل تحويل الطاقة الكهربية الى طاقة حركية في الموتور الكهربى ، وتحويل الطاقة الكهربية الى طاقة حرارية فى الغلايات الكهربية ، والكثير من المعدات الاخرى.

و كذلك يوجد فى بعض المنشات معدات تولد مخلفات دقيقة وخطيرة أو قابلة للإشتعال قد تضر العاملين فى المنشاة و تمثل خطورة بالغة على المنشأة وعلى العاملين فيها .

ولذلك لابد من عمل تهوية جيدة للمكان وذلك للأسباب الآتية:

١- الحفاظ على المعدات والعاملين من إرتفاع درجة الحرارة.

٢- خروج المواد الضارة من حيز وجود المعدات والعمال.

٣- تجديد الهواء باستمرار لتوفير كمية مناسبة من الأكسجين للعاملين.

ولكن تهوية كل منشأة لها مواصفات خاصة تختلف حسب ظروف المنشأة حيث أن العوامل التى تؤثر فى تغيير الهواء هى :

١- عدد الاشخاص الموجودين فى المكان ونشاطهم.

٢- طبيعة المعدات و الحرارة المتولدة من كل معدة.

٣- تاثير أشعة الشمس على جدران المنشأة.

٤- الإضاءة المتواجدة فى المنشاة.

٥- حجم المكان المراد تهويته.

٦- درجة حراة الهواء خارج المنشاة.

التهوية Ventilation :

هى إحداث حركة للهواء داخل مكان محدد مع تجديد الهواء بهواء خارجى لتأمين الجو المناسب للإنسان من الناحية الحرارية والصحية.

وهناك نوعان من التهوية: التهوية الطبيعية، والتهوية الميكانيكية (القصرية).

١ـ التهوية الطبيعية

تنطبق على جميع أنواع التهوية التي تتم بها حركة الهواء داخل الأبنية بفعل قوة الرياح wind force أو فرق درجات حرارة الهواء (فعل المدخنة) stick effect.

ويمكن أن تحدث حركة الهواء بفعل أحد العاملين السابقين أو بهما معاً، ويتوقف ذلك على العوامل الجوية الخارجية وطبيعة البناء وموقعه، و يلاحظ أن معدل التهوية الطبيعية غير ثابت و ذلك لإعتماده على سرعة الرياح و فرق درجات حرارة الهواء المتغيرة مع الزمن.

أنواع التهوية الطبيعية:

١ـ التهوية الطبيعية الناتجة عن سرعة الرياح مع وجود فتحات متساوية لدخول وخروج الهواء:

هناك عدة عوامل يرتبط بها تأمين التهوية الطبيعية بالاستفادة من سرعة وحركة الهواء الناتجة من قوة الرياح الخارجية وهى:

أ ـ سرعة الرياح الوسطية.

ب ـ الإتجاه السائد للرياح .

ج ـ التغيرات اليومية والموسمية لسرعة الرياح وإتجاهها.

د ـ تأثير المبانى المجاورة والمرتفعات والعوائق الأخرى فى حركة الرياح.

ويمكن حساب معدل تدفق الهواء الذى يمر من فتحات التهوية من العلاقة:

$$V = A.W.E$$

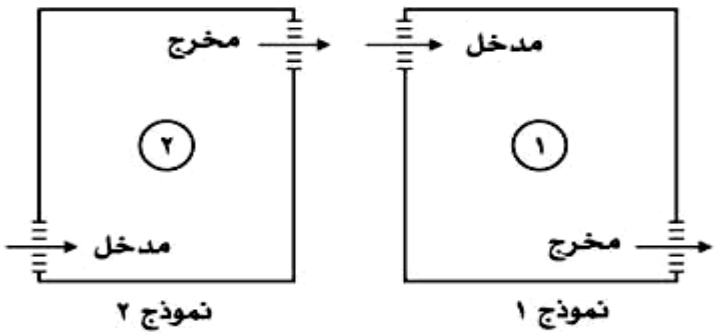
حيث: V معدل تدفق الهواء الخارجي (م^3 /ث).

A: مساحة فتحات دخول الهواء (م^2).

W: سرعة دخول الهواء إلى الفتحات (م/ث).

E: فعالية الفتحة وقيمته تراوح بين (٠,٥- ٠,٦) عندما يكون شعاع سرعة الرياح عموديا على الفتحة وبين (٠,٢٥ إلى ٠,٣٥)عندما يكون شعاع سرعة الهواء مائلاً عن الفتحة.

ويفضل أن تكون مواقع فتحات دخول الهواء مواجهة مباشرة لإتجاه الرياح الخارجية، وفتحات خروج الهواء فى الجهة المقابلة أو فى السقف وفى الموقع ذى الضغط المنخفض من السقف أو الجدار كما هو موضح فى الشكل (١).

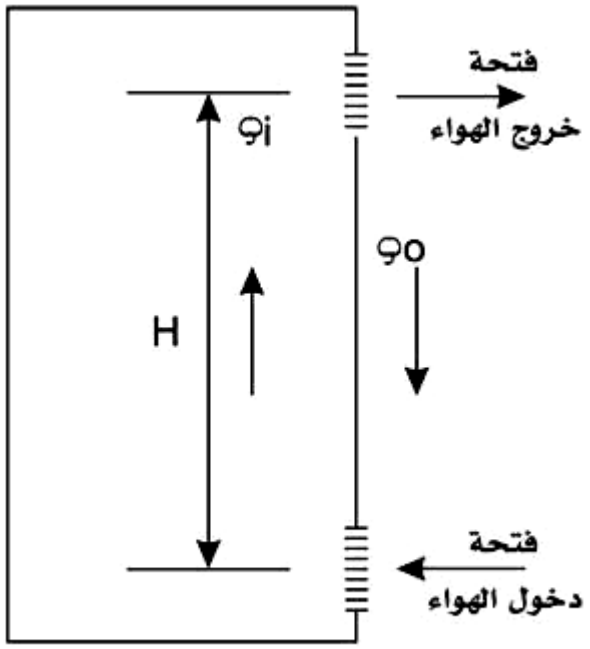


الشكل (١)

٢ـ التهوية الطبيعية الناتجة من فرق درجة حرارة الهواء داخل البناء وخارجه ووجود فتحات تغذية وفتحات طرد لهذا الغرض:

بفرض أن هناك منبعاً حرارياً داخل المكان فإنه نتيجة لفرق درجة حرارة الهواء الموجود بالداخل والموجود بالخارج يحدث جريان للهواء نتيجة فرق كثافة الهواء البارد عن الهواء الساخن فيرتفع الهواء الساخن إلى الأعلى ويحل مكانه هواء بارد من خارج البناء من الفتحات السفلية كما يوضح ذلك الشكل (٢).

ويمكن حساب معدل تدفق الهواء الخارجى الناتج من فرق درجات الحرارة وفقاً للعلاقة السابقة (بالبند ١).



الشكل (٢)

٣ـ التهوية الطبيعية الناتجة من التأثير المشترك لسرعة الرياح ولفرق درجات الحرارة:

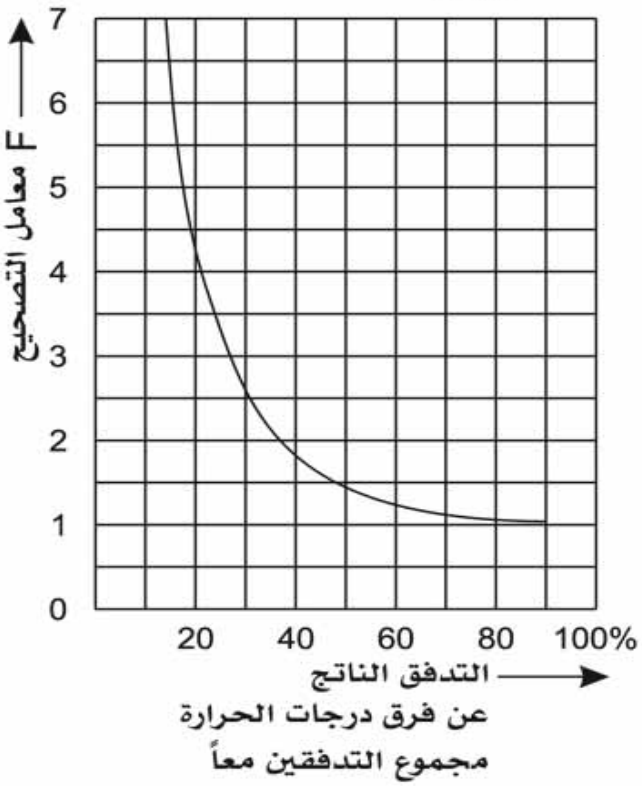
عندما يكون هناك تأثير مشترك لسرعة الرياح ولفرق درجات الحرارة فإنه لا يمكن جمع التدفقين وفى هذه الحالة فإن حساب التدفق الإجمالي يحسب من العلاقة:

$$V_{total} = V.f$$

حيث: f معامل التصحيح الذى يمكن إيجاده من المخطط المبين بالشكل (٣).

وعند إجراء تصميم للتهوية الطبيعية تؤخذ القوتان الناتجتان من سرعة الرياح ومن فرق درجات حرارة الهواء بين داخل البناء وخارجه معاً بصورة متوافقة وغير متعاكسة.

الشكل (٣)



٤ ـ التهوية الطبيعية الناتجة من وجود الشقوق فى النوافذ والأبواب:

إن تسرب الهواء الخارجى إلى داخل المكان يتم من خلال شقوق النوافذ والأبواب (وأيضاً نتيجة فتح وإغلاق النوافذ والأبواب).

وللتبسيط فى حسابات الأحمال الحرارية للمكان يُستخدم الجدول التالى الذى يعطى مقدار كمية الهواء المتسرب من شقوق النوافذ كتابع لعدد النوافذ ونوع المكان بتقدير عدد مرات تبديل هواء المكان بالساعة:

مواصفات الغرفة أو المكان	عدد مرات تبديل الهواء بالساعة
غرف لا تحتوى على نوافذ أو أبواب خارجية	0.5
غرف تحتوى على نوافذ في جدار واحد	1
غرف تحتوى على نوافذ في جدارين	1.5
غرف تحتوى على نوافذ في ثلاثة جدران أو أربعة	2
غرف جلوس، مكاتب	2
معامل	1:1.3
مداخل الأبنية	2:3
المخازن الصغيرة	2:3

إن معدل تسرب الهواء الخارجى من خلال الشقوق فى النوافذ والأبواب يؤدىدوراً كبيراً فى تحديد الفقد الحرارى الكلى للبناء.

ولما كانت سرعة الرياح تزداد مع الإرتفاع عن سطح الأرض فإنه ينتج عن ذلك زيادة بكمية الهواء المتسرب مما يزيد من إحتياج الحرارة اللازمة لتسخين هذا الهواء المتسرب ورفع درجة حرارته إلى درجة حرارة التصميم.

وبذلك فإن المفاقيد الحرارية للطوابق العليا تكون أكبر من الطوابق السفلى ويجب أخذ ذلك فى الحسبان عند حساب الفقد الحرارى للأبنية المرتفعة.

٢- التهوية الميكانيكية (القصرية)

تطبق هذه الطريقة بشكل واسع وتعطى إمكانية تحكم جيد بدرجة الحرارة والرطوبة وتجديد الهواء، وفقاً للحالات الآتية:

١- دفع هواء إلى المكان بوساطة مروحة دفع، وتركه يخرج من فتحات خروج على نحو طبيعى، وفى هذه الحالة يزداد الضغط داخل المكان.

٢- سحب الهواء من المكان بوساطة مروحة سحب هواء وتركه يدخل من فتحات دخول الهواء بصورة طبيعية، وفى هذه الحالة ينقص الضغط داخل المكان وتستعمل هذه الطريقة إذا كان فى المكان نواتج لروائح مزعجة.

٣- دفع الهواء إلى المكان بوساطة مروحة دفع وسحب الهواء من المكان، وفى هذه الحالة يمكن تغيير الضغط داخل المكان حسب الطلب.

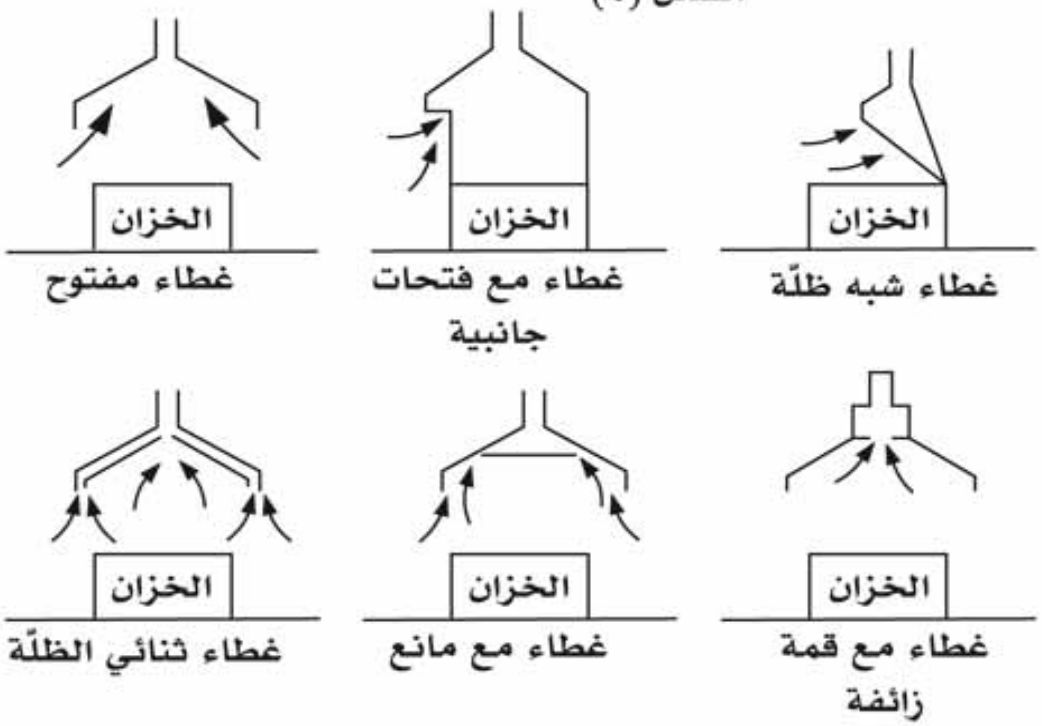
ويجب دراسة حركة الهواء فى الصالات المزودة بتجهيزات تهوية قسرية بحيث يتم توزيع الهواء فى مختلف أركان الصالة بشكل يحقق الغاية المطلوبة من تجديد الهواء أو دفع الحرارة أو الروائح لتأمين راحة الأشخاص الموجودين فى المكان.

التهوية المكانية

تستعمل طريقة التهوية القصرية ضمن مكان محدد وذلك عندما يكون هناك مصادر محددة تنشر الغازات الضارة أو الروائح المزعجة.

تجهز هذه المصادر بمظلات يُسحب الهواء من خلالها، وبذلك يمكن تخفيض معدل التهوية فى المكان كله وتكون مركزة فى المكان المحدد، وتكون هذه المظلات على شكل غطاء مخروطى hood مجهز بمروحة سحب وأحياناً يجهز بمصفٍ خاص، كما هو مبين فى الشكل (٤).

الشكل (٤)



وتستخدم التهوية المكانية فى الغرف الصغيرة المعدة لدهان التجهيزات مثل غرف دهان البرادات أو دهان السيارات أو المطابخ، على أن يكون الضغط سالباً، ويؤمن دخول الهواء الخارجى بوساطة مروحة دفع هواء من أسفل الجدار أو من الأرض والسحب من الأعلى عن طريق مصفى هواء موصل إلى مروحة لسحب وطرد الهواء إلى الخارج.
كما تستخدم فى ورش صيانة السيارات مآخذ سحب هواء توصل مباشرة إلى عادم السيارة لتؤمن طرد العادم إلى الجو الخارجى مباشرة عن طريق مجارى ومروحة سحب هواء.

حساب معدل تدفق الهواء اللازم للتهوية

يسبب الناس القاطنون داخل الأبنية تغيرات فيزيائية وكيمياوية معينة للهواء المحيط بهم، إذ تتناقص كمية الأكسجين الموجودة فى الهواء بينما تزداد كمية غاز ثانى أكسيد الكربون، كما يصدر عن الجسم والملابس روائح عضوية إضافة إلى ما يبثه الجسم من الحرارة والرطوبة وإلى الملوثات العضوية وغير العضوية التى تنشأ عن العمليات الصناعية وغازات العادم فى المعامل وغيرها.
لذلك فإن تجديد الهواء يتطلب استعمال كميات مناسبة من الهواء الخارجى للمحافظة على المواصفات الداخلية المريحة حرارياً وصحياً للإنسان ويمكن حساب هذه المعدلات من الهواء حسب إستعمال المكان والمتطلبات بداخله ، ويتم حساب معدل تدفق الهواء كالآتى:

١ـ حساب معدل تدفق الهواء حسب المكان:

عندما تصعب معرفة عدد الأشخاص الموجودين فى المكان يمكن الإسترشاد بتحديد عدد مرات تبديل هواء المكان بالساعة من الجدول التالى:

المكان	عدد مرات تبديل الهواء بالساعة
مسرح، سينما، مكتبة	4-8
مدارس	5-6
قاعات محاضرات	6-8
مطاعم، مقاهي	5-8
مكاتب	2-3
أخرى	4-6

٢ ـ حساب معدل تدفق الهواء بحسب حاجة الإنسان:

إن تحديد كمية الهواء اللازمة للشخص الواحد فى مكان يمنع فيه التدخين يتم بحيث لا يزيد تركيز ثانى أكسيد الكربون بالهواء المطرود عن ١١م^{٣}/ م^{٣}.

يخرج الإنسان فى هواء الزفير حوالى ٢٠ لتر / ساعة من غاز ثانى أكسيد الكربون ولهذا فإن معدل تدفق الهواء الضرورى للشخص الواحد يجب أن يتناسب مع المتطلبات الصحية.

إن هذا المعدل من الهواء الجديد يزداد ليصل إلى ٥٠-٨٥ م^{٣}/ساعة لكل شخص عند السماح بالتدخين أو عند القيام بأعمال شاقة والجدول التالى يعطى حاجة الأشخاص للهواء بحسب المكان والشروط:

المكان	كمية الهواء اللازمة لكل شخص م٣/ساعة
مسرح، سينما، مكتبة	20-40
مدارس، قاعات محاضرات	20-50
أماكن غير مسموح فيها التدخين	25-40

٣ـ حساب معدل تدفق الهواء اللازم عند وجود منبع حرارى داخل المكان:

فى حال وجود حمل حرارى داخل المكان من المصادر الخارجية والداخلية فإن تدفق الهواء اللازم لإزاحة هذه الحرارة يرتبط بالعوامل الآتية:

- معدل تدفق الهواء اللازم.
- كمية الحرارة المتولدة في البناء.
- الحرارة النوعية للهواء.
- درجة الحرارة الداخلية لهواء الغرفة.
- درجة حرارة هواء التغذية الخارجى.

٤ـ حساب معدل تدفق الهواء اللازم عند معرفة المواد الضارة المنبعثة داخل المكان:

عندما تكون التهوية داخل المكان مستمرة وحالة الهواء مستقرة وثابتة وكان فى داخل المكان مصدر للمواد الضارة فإنه يمكن تقدير العناصر الآتية:

- كمية المواد الضارة المنبعثة داخل المكان م^{٣}/ث أو ملجم/ث.
- معدل تدفق الهواء اللازم م^{٣}/ث.
- تركيز المواد الضارة فى الهواء الجديد.
- تركيز المواد الضارة فى هواء الغرفة.

ومنها يمكن حساب معدل تدفق الهواء اللازم.

التجهيزات الأساسية اللازمة التهوية:

١ـ مجارى الهواء Air Ducts:

تستعمل عادة مجارى من الصاج المجلفن أو الألمنيوم لنقل الهواء ويتم تصنيع هذه المجارى على أشكال مختلفة مربعة، مستطيلة أو دائرية.

وإن التصميم الصحيح لهذه المجارى يجب أن يأخذ فى الحسبان الفراغ المتوفر فى البناء لمرور هذه المجارى، وطريقة توزيع الهواء، ومستوى الضجيج، والمفاقيد الحرارية للمجارى، والتكلفة التأسيسية وتكلفة التشغيل.

٢ـ فتحات الهواء Air Grilles:

إن وظيفة فتحات الهواء هى توزيع الهواء فى المكان للحصول على الشروط الداخلية فى جميع أنحاء المكان، وهى على عدة أنواع نذكر منها:

أ ـ فتحات ذات صفين من الشفرات المتحركة.

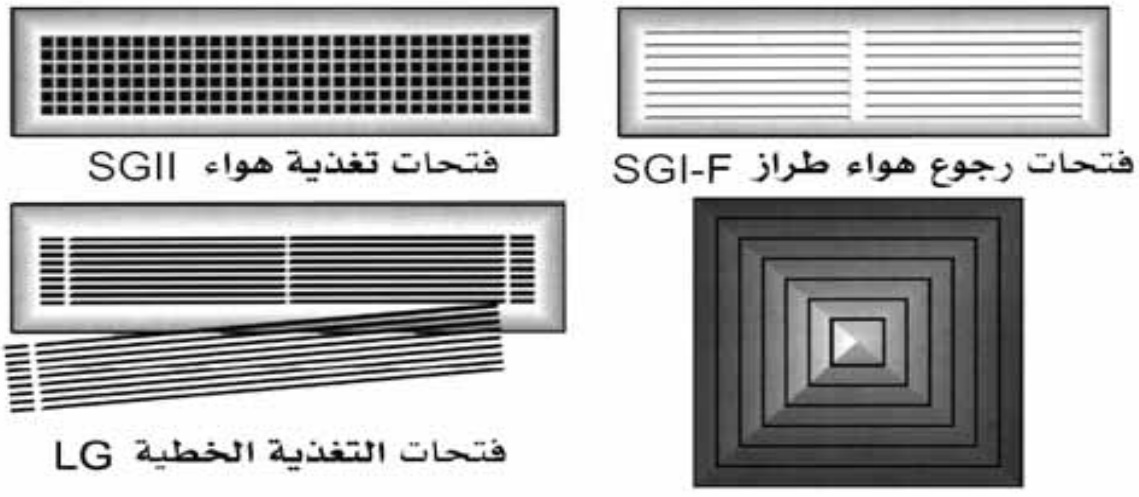
ب ـ فتحات ذات صف واحد من الشفرات الثابتة.

ج ـ فتحات مربعة سقفية.

د ـ فتحات دائرية سقفية.

تصنع هذه الفتحات من الألمنيوم المسحوب أو الصاج المدهون ويضاف إليها معيرات للهواء تمكن من تعيير معدل تدفق الهواء.

ويختار شكل الفتحة لتناسب الشكل الجمالى للبناء ولتحقق توزيع الهواء بالشكل المطلوب إذ أن ثمة أنواع عدة من فتحات الهواء منها ما يستخدم لتغذية الهواء أو لرجوع الهواء أو لسحب الهواء ويوضح الشكل (٥) بعض هذه النماذج.



الشكل (٥)

٣- مراوح الهواء Air Fans:

إن المراوح هى آلات دوارة ذات شفرات تعمل على دفع الهواء خلال مجارى الهواء فى أجهزة التكييف والتهوية، وتعمل المروحة كمضخة هوائية تتغلب على فرق الضغط الناتج من مقاومة جريان الهواء داخل مختلف التجهيزات ، وتعد من الأجزاء الرئيسية لتجهيزات التهوية.

وتتألف المراوح من الأجزاء الرئيسية التالية:

أ ـ الغلاف (casing) أو الهيكل : وهو القسم الثابت المغلف للجزء الدوار، يوجه الهواء ويكون متباعداً (diffuser) فىالمراوح المحورية وحلزونياً (لشرا) (spiral) فى المراوح الطاردة المركزية.

ب ـ الجزء الدوار (الدافع impeller) : وهو القسم الذى يؤدى دورانه إلى دفع الهواء، ويمكن أن يكون بالمروحة دافع أو أكثر ويتصل مع المحور الدوار ومع المحرك إما مباشرة وإما عن طريق وصلات خاصة.

ج ـ الجزء الموجِّه: شفرات التوجيه (guide vanes) :وهى شفرات لتوجيه الهواء عند دخوله أو خروجه إلى الجزء الدوار، ومهمتها توجيه الهواء بصورة صحيحة للحصول على أعلى مردود للمروحة.

٤ ـ مصافي الهواء Air Filters:

يحتوى الهواء الجوى على ملوثات وهىجزيئات صغيرة جداً تقاس بالميكرون.
ويمكن تقسيم الملوثات الهوائية إلى أربعة أنواع كالأتى:

أ ـ ملوثات صلبة.

ب ـ ملوثات سائلة.

ج ـ ملوثات غازية.

د ـ ملوثات عضوية.

ومصفاة الهواء شريحة من مادة مسامية يدخل من خلالها الهواء مع المواد الملوثة، والقسم الأكبر من هذه الملوثات تبقى عالقة بهذه الشريحة.
ويمكن تصنيف مصافى الهواء بحسب مردودها إلى :

أ ـ مصافى ذات مردود قليل يراوح بين ٥٠-٨٠٪.

ب ـ مصافى ذات مردود متوسط يراوح بين ٨٠-٩٥٪.

ج ـ مصافىذات مردود عالٍ يراوح بين ٩٥-٩٩٪.

د ـ مصافى ذات مردود مطلق يراوح بين ٩٩.٩-٩٩.٩٩٩٩٪.

الباب السادس: التكييف المركزى

Centeral Air Conditioning

٦- أنظمة التكييف المركزى:

مقدمة:

جهاز التكييف المركزى عبارة عن وحدات تكييف هواء توجد فى مكان مركزى بالنسبة للمبنى يعمل على خدمة عديد من الطوابق ذات الغرف المتعددة الأغراض بسهولة .

ويجب على المصمم فى كل تطبيق مراعاة المزايا الساسية لكل نظام ومن ثم اختيار النظام المناسب .

إختيار نوع النظام يعتمد على عدة عوامل هى:

- التغير فى الأحمال الحرارية للمبنى .
- متطلبات المناطق المختلفه.
- المكان المتاح لوضع الأجهزة.
- التكلفة.

تصنف أجهزه التكييف المركزى إلى ثلاثة أنواع:

١- نظام هوائى كلى (All-Air System)

ويستخدم هذا النظام الهواء فقط للتبريد أو التسخين.

٢- نظام مائى كلى (All-Water System)

ويستخدم هذا النظام الماء فقط للتبريد أو التسخين.

٣- نظام مائى – هوائى (Air-Water System)

ويستخدم هذا النظام الماء والهواء للتبريد أو التسخين.

وتستخدم الأنظمة المذكورة فى العديد من المبانى كالفنادق والمستشفيات والأسواق المركزية والمساجد والشقق السكنية والمسارح وأستوديوهات البث والمكتبات وخلافه.

١- أنظمة الهواء الكلى (All-Air System)

كما ذكرنا فإنه يتم عادة تصنيف أنظمة تكييف الهواء تبعا لنوعية المائع الحامل للحرارة من المكان المكيف ومنها النظام الهوائى الكلى (All-Air System) حيث يستخدم هذا النظام الهواء فقط للتبريد أو التسخين .

ويضم الأنظمة التالية:

١- أنظمة الهواء الكلى التقليدية (Conventional Systems) ذات المجرى الواحده (Single Duct)

هذه الأنظمة تكو ن عادة ذات مجرة واحده (Single Duct) مع مخارج لتوزيع الهواء وتحتوى أنظمة الهواء التقليدية على تحكم مباشر لظروف الغرفة وتستخدم فى أماكن يكون فيها عادة عدد الأشخاص ثابتا وفى بعض الأحيان متغيرا، كالمستودعات والمكاتب والمصانع، حيث إنها غالبا لاتحتاج إلى تحكم دقيق فى درجة الحرارة والرطوبة.

ويتم تصنيف هذه الأنظمة إلى مجموعتين رئيسيتين هما:

- **نظم ثابتة الحجم متغيرة درجة الحرارة**

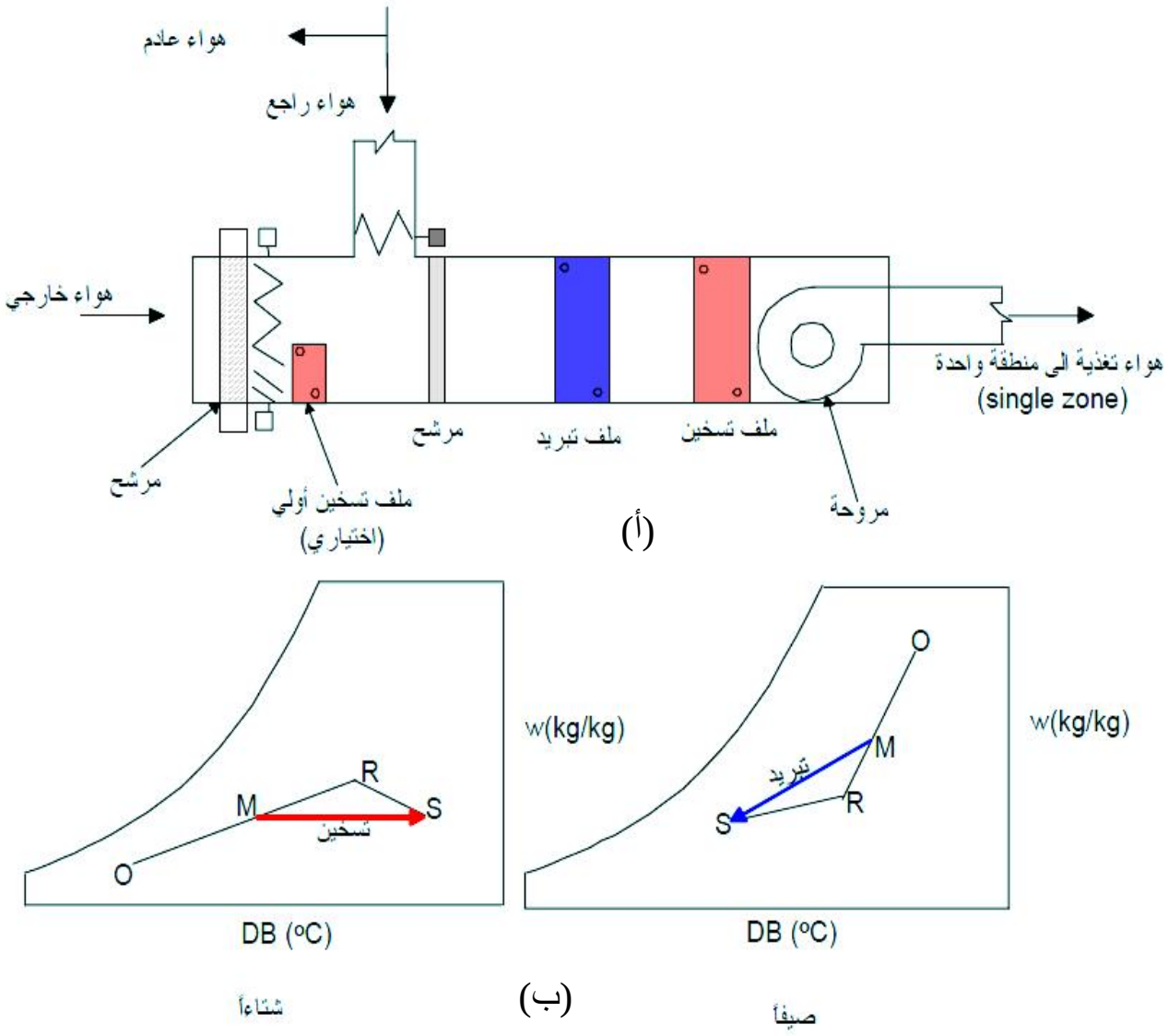
وتستخدم تحكم موضعين (On-off Control) أو تحكم خوانق وجه مع إمرار جانبى كما هو موضح فى:
الشكل (٦-١) نظام تكييف هواء كلى تقليدى ذو مجرى واحد (ثابت الحجم متغير درجة الحرارة).
الشكل (٦-٢) نظام هواء كلى تقليدى (منطقة واحدة) يستخدم خوانق وجه وإمرار جانبى .

- **نظم متغيرة الحجم ثابتة درجة الحرارة**

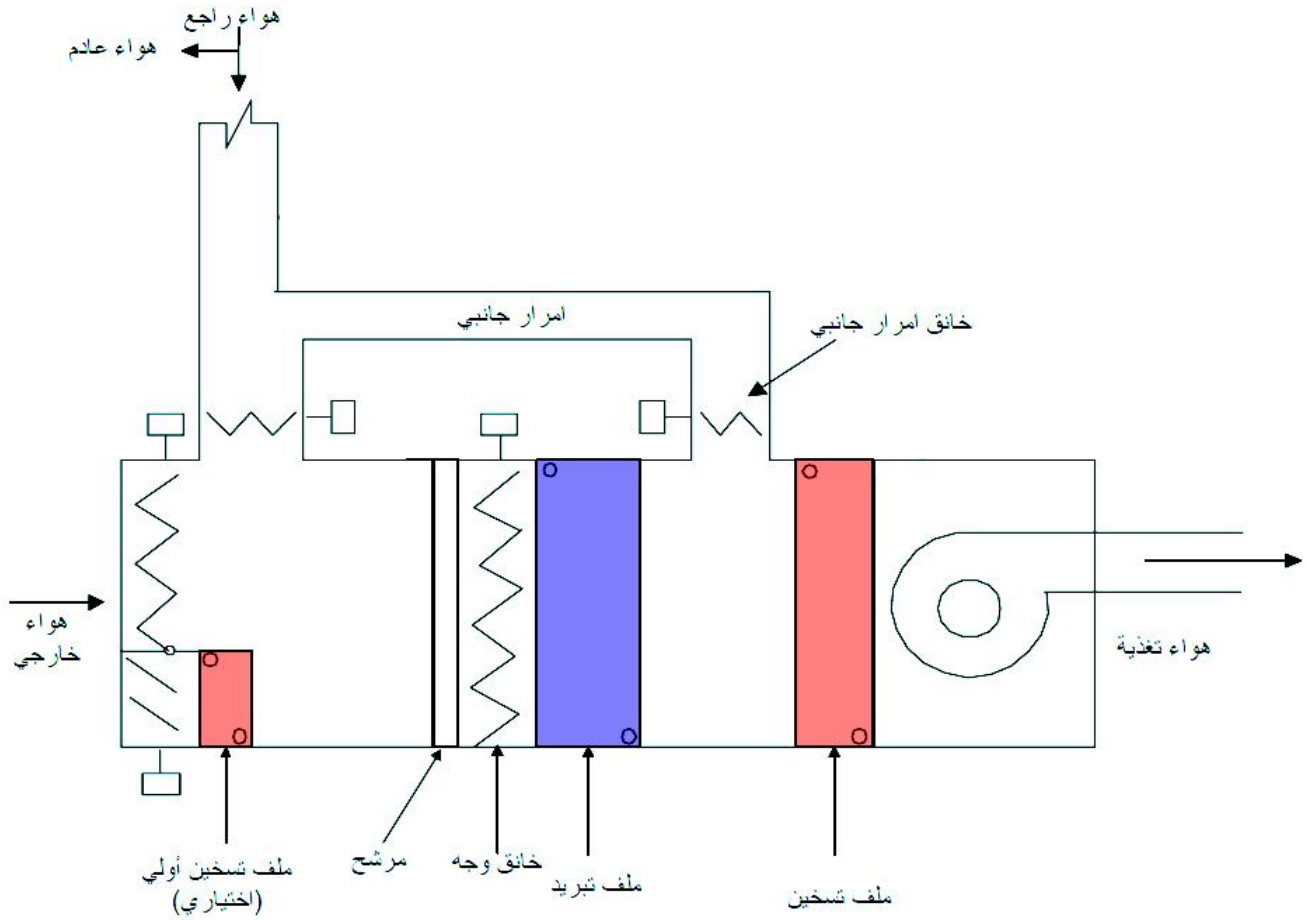
وتسخدم خوانق التحكم فى حجم هواء التغذية (Volume Control Dampers)

الشكل (٦-٣) يوضح الأجزاء الرئيسية لنظام هواء كلى تقليدى يستخدم فى تكييف صيفى وهى:

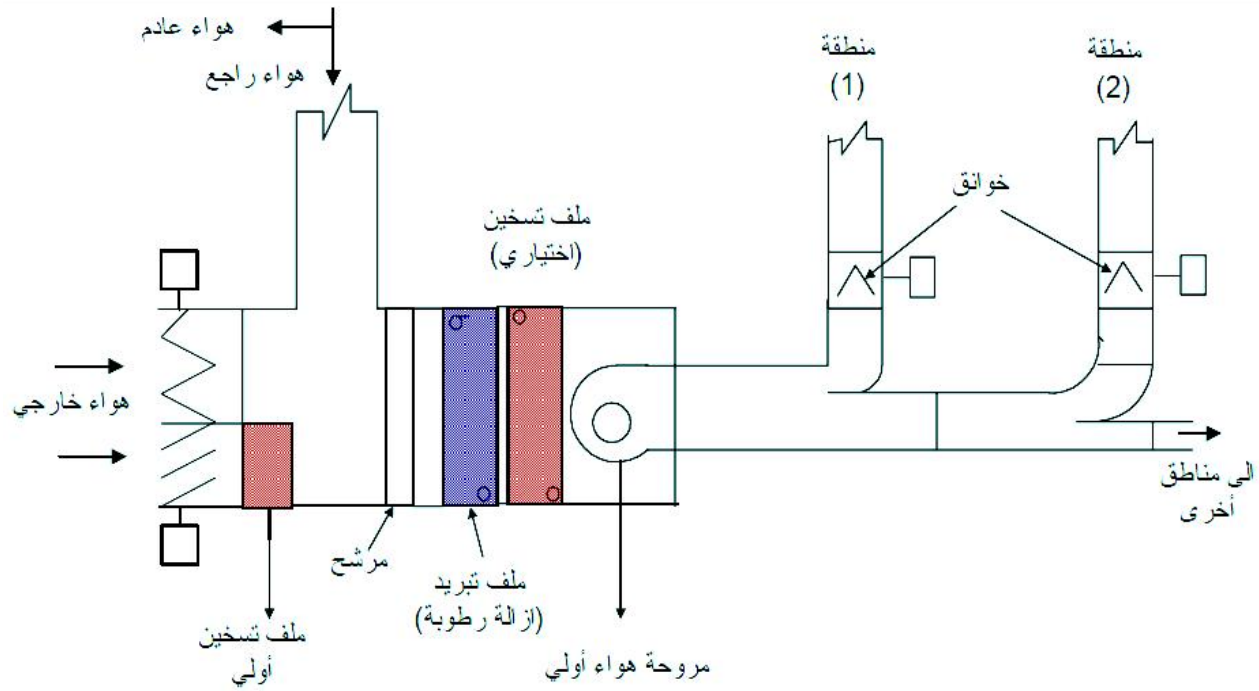
- توصيلات هواء خارجى وهواء راجع.
- مرشح.
- مزيل للرطوبة.
- مروحة محرك.
- مجارى هواء تغذية ومخارج للهواء.



شكل (٦-١): نظام تكييف هواء كلى تقليدى ذو مجرى واحد
(ثابت الحجم متغير درجة الحرارة)
(أ):مكونات النظام (ب):العمليات السيكروميترية صيفا وشتاء



شكل (٦-٢) نظام هواء كلى تقليدى (منطقة واحدة) يستخدم خوانق وجه وإمرار جانبى



شكل (٦-٣) نظام هواء كلى تقليدى يستخدم خوانق تحكم فى الهواء لعدة مناطق
(نظام متغير الحجم ثابت درجة الحرارة)

مزايا النظام

- البساطة (Simplicity)

- هذه الأنظمة سهلة التصميم والتركيب والتشغيل.
- قلة التكلفة الآبتدائية (Low Initial Cost)
- الاقتصاد فى التشغيل (Economy of Operation)

ذلك أن الهواء الخارجى وحده يمكن أن يغطى إحتياجات التكييف فى الظروف المناخية المعتدلة فهذا يؤدى إلى ترشيد إستخدام التبريد بالإضافة الى أنه فى أغلب الأحيان تكون الأماكن التى يخدمها هذا النظام محدودة وبالتالى فإن عمل النظام يكون مقتصرا على أوقات محددة.

- التشغيل الهادئ (Quiet Operation) :

حيث أن جميع الأجهزة الميكانيكية يتم تركيبها فى أماكن بعيدة.

- مركزية الصيانة (Centralized Maintenance)

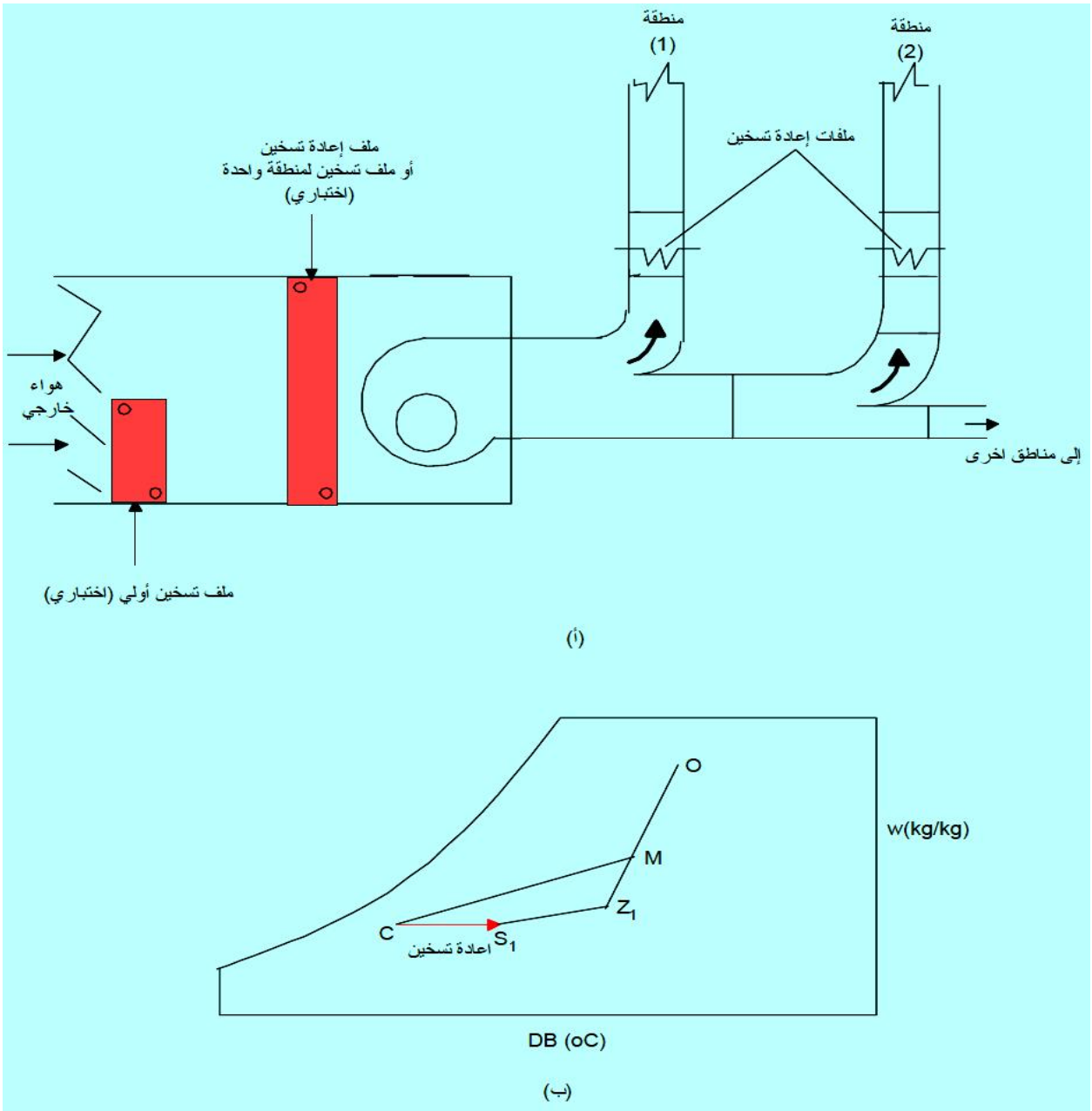
نجد أن ماكينات التبريد ووحدات مناولة الهواء توجد فى مكان واحد الأمر الذى يجعل عمليات الصيانة مركزة فى غرفة الماكينات.

٢- نظام إعادة التسخين (Reheat System)

يهدف هذا النظام إلى التحكم فى درجة حرارة الهواء لأماكن مختلفة وأحمالها غير متساوية ويتم إعادة تسخين الهواء بواسطة البخار، الكهرباء أو الماء الساخن خلال الوحدات الطرفية المتواجدة فى الأماكن المراد تكييفها كما هو موضح بالشكل (٦-٤)

وعادة يتم تثبيت الوحدات الطرفية فى المسالك الهوائية الفوقية أوأسفل الشبابيك وتتم التغذية الأولية للهواء عن طريق وحدة مركزية تسمح بأكبر حمل تبريد .

يعمل ثيرموستات الوحدة الطرفية على تشغيل أنظمة إعادة التسخين إذا قلت درجة حرارة الهواء عن الدرجة المفروضة .



شكل (٦-٤) نظام إعادة التسخين

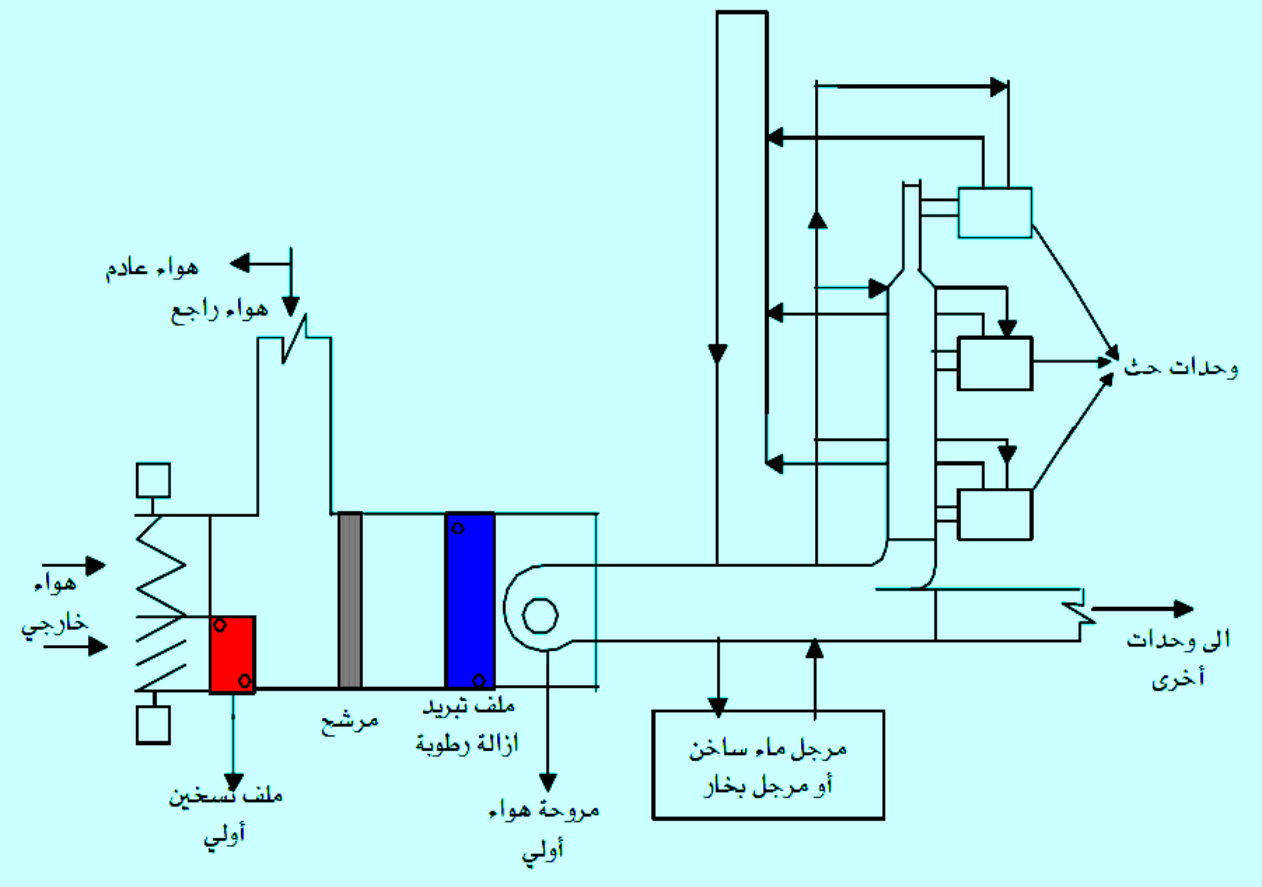
(أ):مكونات النظام (ب):العمليات السيكروميترية

٣ – نظام الهواء الكلى الحثى ذو الحجم الثابت (Constant Volume induction system)

يناسب هذا النظام العديد من التطبيقات خصوصا المبانى المتوسطة والصغيرة متعددة الغرف حيث أن الغرف والأماكن الكبيرة يتم تكييفها من محطة تكييف مركزية ، ويستخدم هذا النظام المبانى الأفقية التى تكون نسبة مساحة الأرضية إلى الارتفاع عالية ، مما يلزم إستخدام مجارى هواء وإمداد أنابيب أفقية.

يناسب هذا النظام التطبيقات ذات الأحمال الكامنة العالية كالمدارس والمعامل والفنادق والمستشفيات والشقق وكذلك المكاتب التى يتوفر فيها خدمة الماء الحار أو البخار.

وفى هذه الحالة يلزم إضافة ماكينة تبريد وملفات تبريد وتوصيل أنابيب والشكل (٦-٥) عبارة عن مخطط للنظام يحتوى على محطة مركزية لتكييف الهواء تحتوى على مرشحات ، ملفات تسخين أولى ومزيل رطوبة وخامد للصوت وماء مثلج بالإضافة إلى مصدر ماء حار أو بخار.



شكل (٦-٥) نظام هواء كلى حثى ذو حجم ثابت

(أ):مكونات النظام (ب):العمليات السيكروميترية

وحدة الحث (Induction Unit)

تم تصميم وحدة الحث لتستخدم مع الأتى:-

(أ) جهاز تكييف كامل (نظام الهواء – الماء)

(ب) جهاز تسخين وتهوية فقط (نظام حثى ذو حجم ثابت)

يوضح الشكل (٦-٦) المكونات الأساسية لوحدة الحث التى تستخدم للتسخين والتهوية فقط وهى:-

- مدخل هواء أولى
- صندوق خامد للصوت
- فوهة
- ملف تسخين

مزايا النظام :-

- التحكم فى درجة الحرارة لكل غرفة حيث إن كل غرفة تعتبر منطقة (Zone) لوحدها.
- التصميم السهل لنظام الهواء.
- مركزية هواء التغذية الأولى.

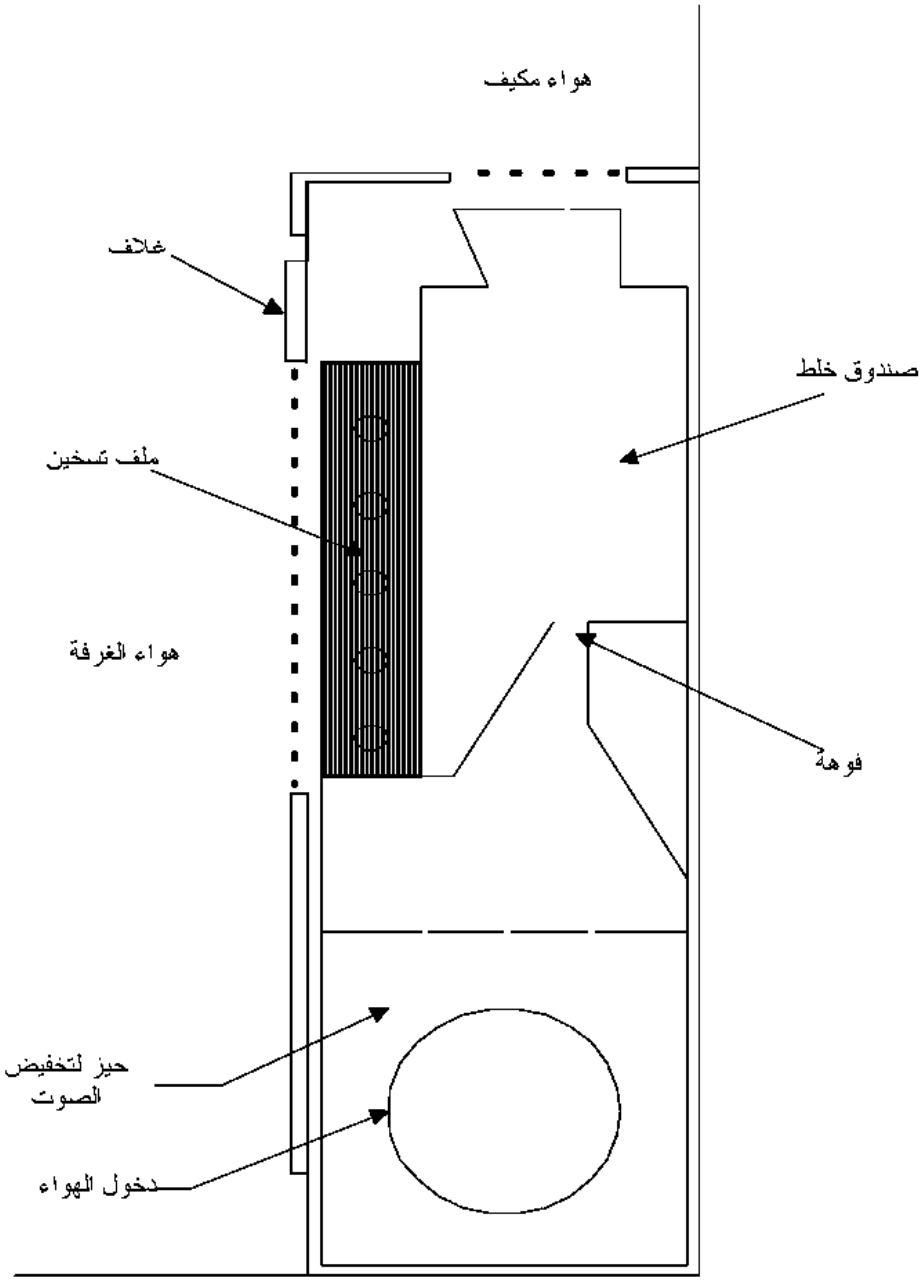
ويكون حجم الهواء ثابتاً ويتم تغذية الهواء الأولى من محطة مركزية واحدة لجميع الغرف الداخلية والخارجية.

- بساطة نظام التحكم.
- التشغيل الإقتصادى.

عدم الحاجة إلى ماكينات التبريد فى حالة الظروف المناخية المعتدلة

- التحكم فى التهوية , تخفيف الروائح , حركة الهواء الثابتة.
- هدوء التشغيل

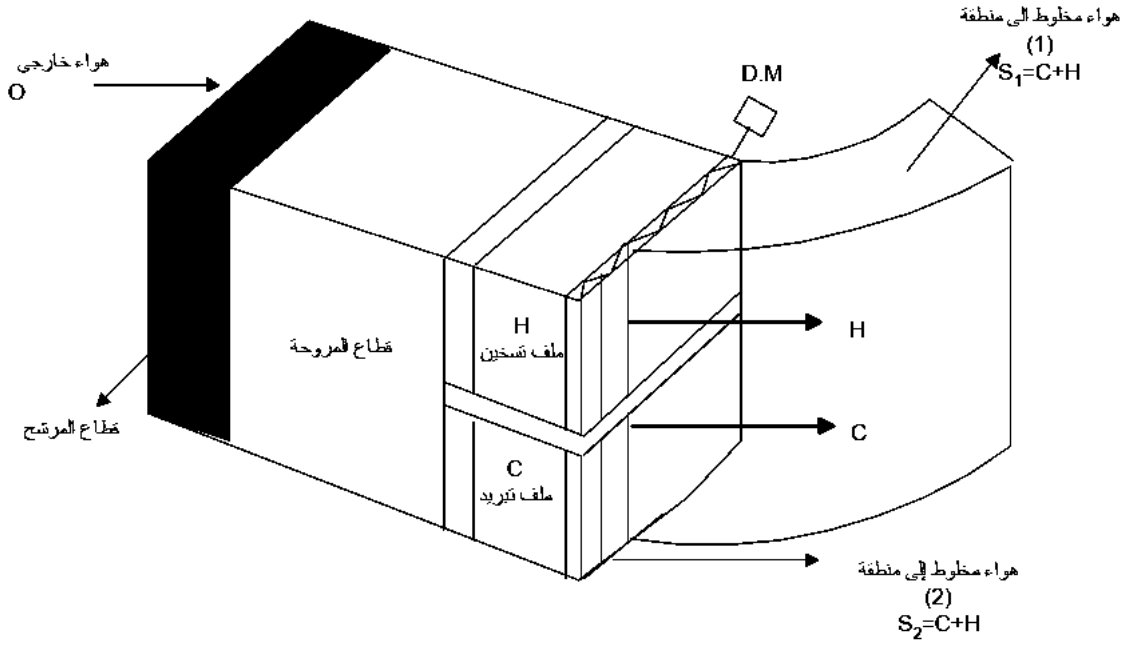
وذلك لبعد المراوح عن الوحدة.



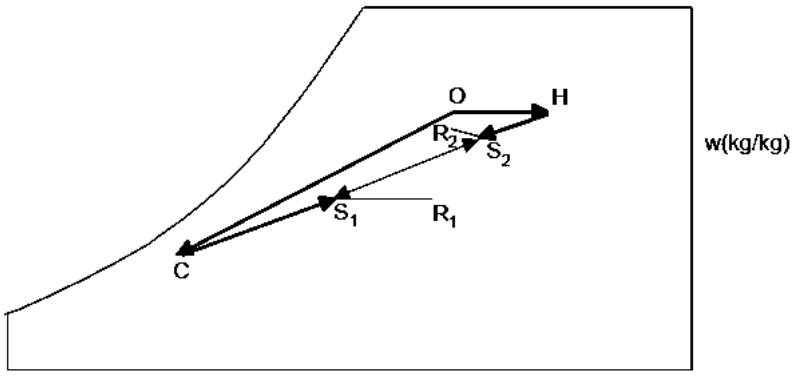
شكل (٦-٦) وحدة حث تستخدم للتسخين والتهوية فقط

٤ - نظام الوحدة متعددة المناطق (Multi – Zone Unit System)

يتكون نظام الهواء الكلى للوحدة متعددة المناطق من ملفات التبريد والتسخين على التوازى ويعطى حجماً ثابتاً للهواء مع ثبوت درجة الحرارة وتكون الوحدة متعددة المناطق و تشتمل الوحدة على صندوق خلط ، مرشح ، مروحة، وصندوق يحتوى على ملفات التبريد والتسخين مع غرف للهواء البارد والساخن ومجموعة من خوانق الخلط تقوم بخلط الهواء البارد والحار بالنسبة المطلوبة ومن ثم يتم دفع الهواء المخلوط عبر مجارى للهواء إلى المناطق المختلفة كما هو موضح بالشكل (٦-٧)



(أ)



(ب)

شكل (٦-٧) نظام وحدة هواء كلى متعددة المناطق

أ- مكونات النظام **ب - العمليات السيكروميترية**

يستخدم هذا النظام فى الحالات التالية:-

- المبانى التى تحتوى على عدد من الطوابق الصغيرة والكبيرة والتى تحتاج إلى تحكم منفصل فى درجات الحرارة مثل المدارس ومجمعات المكاتب والمناطق الداخلية ذات الطوابق المفتوحة على بعضها لمبنى متعدد الطوابق.
- المبانى التى تحتوى على مناطق فى إتجاهات مختلفة وكذلك أحمال داخلية مختلفة مثل المبانى التى تستعمل الطابق الأرضى.
- المبانى ذات المناطق الداخلية مختلفة الأحجام كأستديوهات الراديو والتليفزيون.

مزايا النظام

- التحكم فى درجة حرارة المناطق أوالمكان الذى يعتبر كمنطقة منفصلة، حيث يتم تغذية كميات الهواء عند درجة الحرارة المطلوبة.
- سهولة الحصول على أقل حجم للوحدة،: يمكن الحصول على وحدات تناسب المناطق مجمعة من المصنع أو تلك التى يتم تجميعها فى الموقع ويمكن أن تناسب جميع المتطلبات.
- سهولة تبديل التشغيل: التغيير من الصيف إلى الشتاء والعكس يمكن الحصول عليه عن طريق التشغيل والإيقاف اليدوى من محطة التبريد.
- سهولة توزيع الهواء وموازنته باستخدام مجرى هواء واحد فقط مع مخارج ونواشر للهواء يجعل النظام سهل الموازنة.
- التشغيل الإقتصادى.

يمكن استخدام جميع الهواء الخارجى عند إنخفاض درجة الحرارة لتغطية أحمال التبريد الأمر الذى يوفر فى إستعمال ماكينات التبريد.

- التشغيل الهادئ.

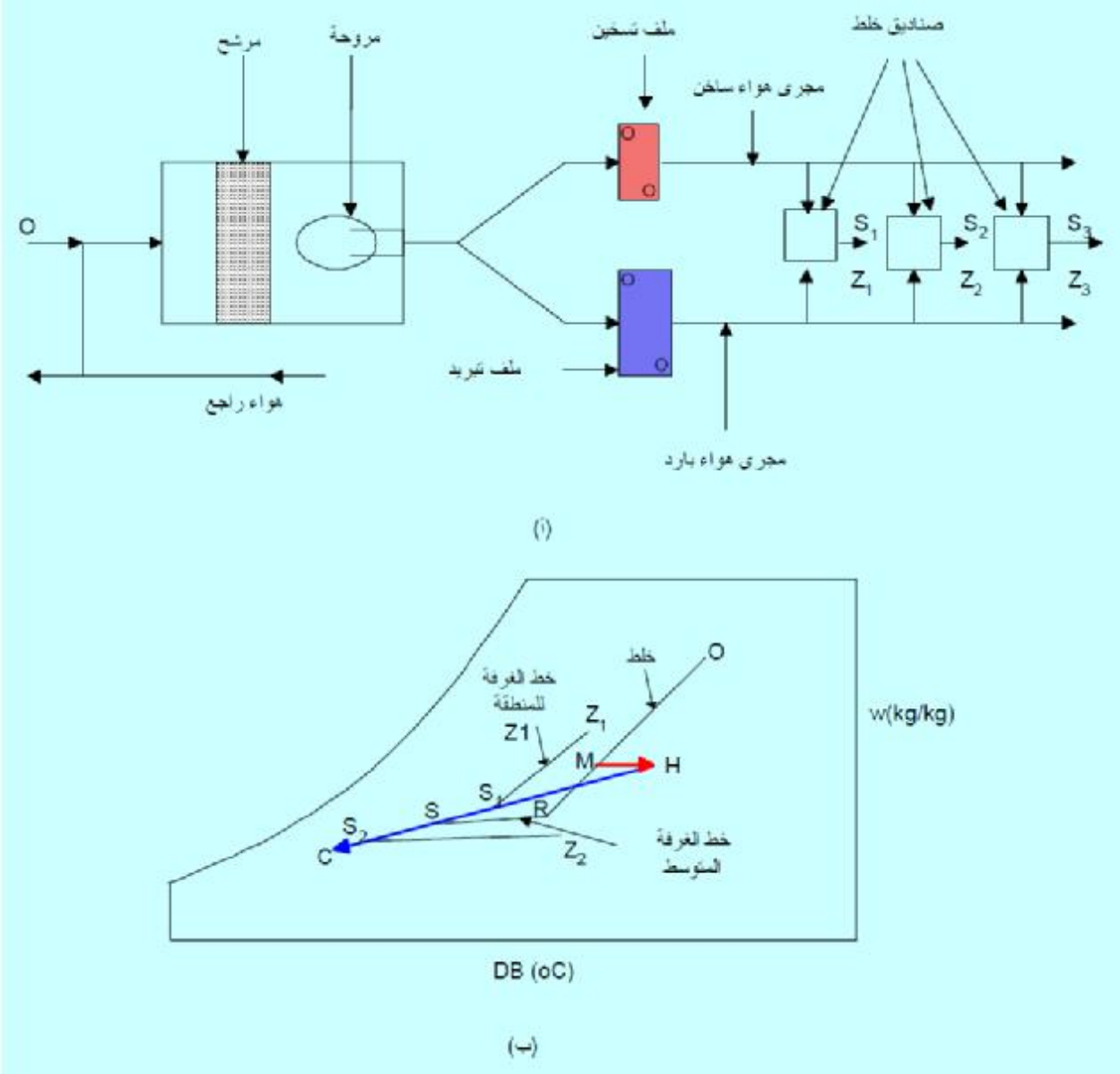
جميع المراوح والأجهزة المتحركة الأخرى يتم وضعها عن بعد.

٥- نظام المجرى الثنائى (Dual Duct System)

يمكن الحصول على التحكم فى درجة الحرارة عن طريق تزويد صندوق الخلط بهواء من مجريين للهواء كلاهما عند درجتى حرارة مختلفتين أحدهما ساخن والأخر بارد، ويقوم صندوق الخلط بخلط الهواء البارد والحار بنسب حسب ضبط الثرموستات الموجود فى المكان أوالمنطقة.

الإستخدام الشائع لهذا النظام هو المبانى متعددة الغرف ولكن الكثير من الأنظمه الأخرى تم إستخدامها فى المكاتب، الفنادق، الشقق السكنية، المستشفيات، المدارس والمعامل الكبيرة.

يكون التصميم الجيد لنظام المجرى الثنائى للمبانى متعددة الغرف والتى تمتاز بالتغير الكبير فى الحمل الحرارى المحسوس كافياً للتغلب على مشكلة الحمل المحسوس كما هو موضح بالشكل (٦-٨)



شكل (٦-٨) نظام ثنائى المجرى

(أ) مكونات النظام (ب) العمليات السيكروميترية

مزايا النظام

- التحكم المنفصل فى درجة الحرارة.

حيث أن توفر الهواء البارد والحار فى نفس الوقت يسهل المرونة والإستجابة السريعة لدرجة الحرارة.

- سهولة الحصول على أقل حجم للوحدة.

يمكن تقليل عدد المناطق التى تسخدمها المحطة المركزية نظرا لتوفر التبريد والتسخين عند كل نهاية فى نفس الوقت.

- سهولة تبديل التشغيل من الحار إلى البارد والعكس.

ويتم ضبط ثيرموستات المكان أو المنطقة مرة واحدة على مدار العام لتشغيل وإيقاف ماكينات التبريد والمراحل يتم فقط عندما تتغير درجة الحرارة للهواء الخارجى بشكل كبير.

- مركزية معدات التكييف والتبريد حيث تتوافر خدمات الكهرباء والماء.
- مركزية الخدمة والصيانة.
- مركزية مداخل الهواء الخارجى.
- يقل احتمال الرياح والأمطار من الخارج مما يسهل التعامل المعمارى مع المبنى.
- كفاءة المرشحات:

حيث أن ترشيح الهواء يتم مركزيا فيمكن الحصول على كفاءة أعلى وبصورة إقتصادية لتلبية المتطلبات.

- التشغيل الإقتصادى.
- هدوء التشغيل:

جميع المراوح والأجهزة المتحركة توجد فى مكان بعيد عن المناطق المكيفة.

- مرونة تصميم نظام الهواء.
- إمكانية إختيار سرعات الهواء المتوسطة والعالية على أساس إقتصادى وحسب متطلبات المبني.

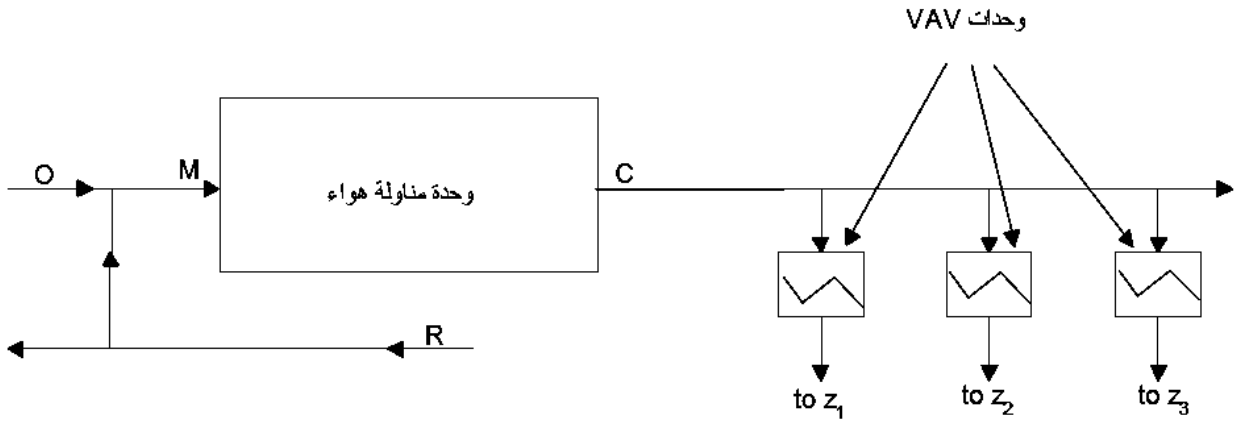
سلبيات النظام:

- استخدام المسالك الهوائية المنفصلة يعمل على زيادة التكلفة مقارنة بالأنظمة الأخرى.
- دقة التحكم تحتاج الى وحدة مناولة كبيرة وهذا يؤثر على تكلفة النظام.
- يستهلك كميات أكبر من الطاقة .

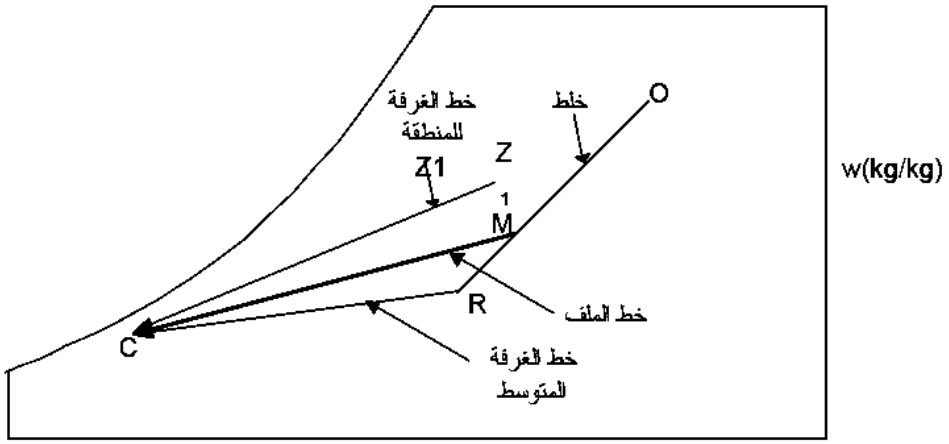
٦- نظام حجم الهواء المتغير وثبات درجة الحرارة Variable Air Volume System (VAV)

يسمح هذا النظام بتغيير الأحمال الحرارية عن طريق تغيير معدلات الهواء خلال الوحدة الطرفية (Terminal Unit) الموجودة داخل المكان المكيف، ومن مزايا هذا النظام قلة كل من التكلفة الإبتدائية وتكلفة التشغيل نسبة لأن حجم الهواء يتطلب تحكماً بسيطاً فى حدود 20% لمخارج الهواء. وكما هو موضح بالشكل (٦-٩).

ويستخدم هذا النظام مع الأحمال الحرارية الثابتة على مدار العام مثل المخازن التجارية ، المبانى المكتبية ، الفنادق ، المستشفيات ، المساكن ، المدارس.



(أ)



(ب)

شكل (٦-٩) نظام هواء كلى متغير الحجم

(أ) مكونات النظام (ب) العمليات السيكروميترية

الخلاصة

فى هذه الأنظمة يتم فقط دفع الهواء البارد أو الساخن إلى المكان المراد تكييفه عبر مجارٍ للهواء (Duct) وتوزيعه خلال مخارج للهواء أو مخارج خلط طرفيه.

٢- أنظمة الماء الكلى All-Water System

التصنيف الثانى لأنظمة التكييف المركزى هو المائى الكلى (All-Water System) حيث يستخدم هذا النظام الماء فقط للتبريد أو التسخين.

- نظام وحدة الملف ــ مروحة (Fan – Coil Unit System)

يستخدم نظام الماء الكلى وحدات ملف ــ مروحة (Fan Coil) حيث يسرى خلال ملف الوحدة ماء بارد أو ساخن سبق تجهيزه فى الغرفة المركزية للتبريد.

يتم التحكم فى درجة حرارة الهواء بواسطة التحكم فى معدل سريان الماء خلال الملف عن طريق صمامات تحكم.

يعتبر نظام التكييف الذى يستخدم وحدات (Fan Coil) الأرخص والأوسع إنتشاراً فى الوقت الحاضر فى الفنادق، المبانى المكتبية والمراكز الطبية.

مزايا النظام

- ü قلة التكاليف
- ü لايحتاج إلى مسالك هوائية
- ü لايشغل حيز كبير
- ü سهولة التركيب

عيوب النظام

- ü لايوفر التحكم الجيد فى رطوبة الهواء للغرفة.
- ü إجراء الصيانة داخل الأماكن المكيفة.
- ü تكون البكتيريا فى مواسير المياه
- ü تأثر تهوية الغرف بسرعة الرياح والأمطار وتسرب الحشرات خلال الفتحات الحائطية.

أنواع أنظمة الماء الكلى (Types of All-Water System)

تنقسم أنظمة الماء الكلى إلى قسمين أساسيين حسب توصيلات المواسير المذكورة لوحدات fan coil:-

١- نظام الأنبوب الواحد (Single Piping System)

وفى هذا النظام توجد (أنبوبتان)، أنبوبة واحدة لتغذية الماء البارد أو الساخن لوحدة الملف – مروحة وماسورة واحدة للماء الراجع من الوحدة.

٢- نظام متعدد الأنبوب (Multi-Piping System)

وفى هذا النظام توجد:

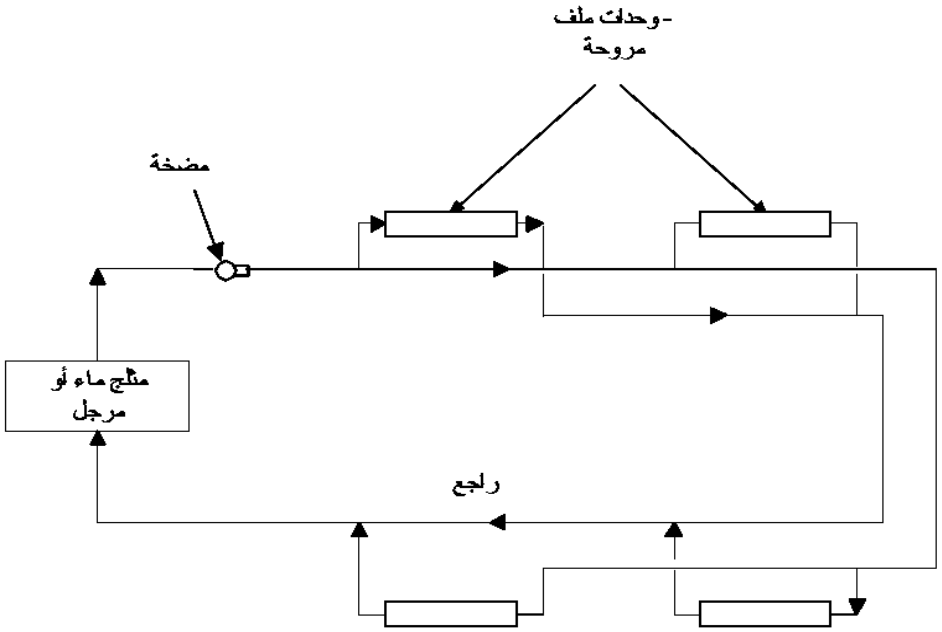
أنبوبتان لتغذية الماء (البارد و الساخن) لوحدة الملف - المروحة وأنبوبة واحدة للماء الراجع (نظام ثلاثى الأنبوب 3-Pipe System) ، أو أنبوبتان للماء الراجع (نظام رباعى الأنبوب 4-Pipe System)

١. نظام الأنبوب الواحد (Single Piping System)

عند توصيل وحدتين فانكويل أو أكثر أفقياً أو رأسياً فإن مواسير الراجع يمكن توصيلها بإحدى الطرق التالية:

(أ) أنبوب راجع عكسى (Reverse Return Piping)

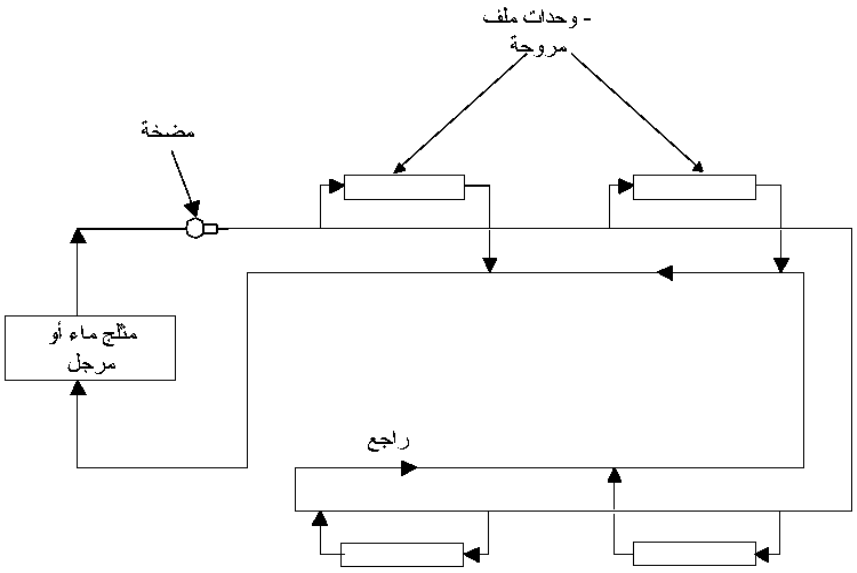
يستخدم هذا النظام إذا كانت جميع وحدات الملف- مروحة لها هبوط ضغط متساوى أما إذا كان هبوط الضغط مختلفاً من وحدة إلى أخرى أو أنها تحتاج إلى صمامات موازنة تنظم سريان الماء عبر كل وحدة فيكون من الأجدى إقتصادياً إستخدام النظام الراجع المباشر (Direct Return) كما هو موضح بالشكل (٦- ١٠) .



شكل (٦-١٠) نظام ملف – مروحة (أنبوبتان) مع راجع عكسى

(ب) نظام الأنبوب الراجع المباشر (Direct Return Piping)

يستخدم نظام الأنبوب الثنائى مع راجع مباشر مع أنظمة الأنبوب المفتوحة (Open System) وهى أنظمة يسرى فيها الماء إلى خزان مفتوح إلى الهواء الجوى كأبراج التبريد وغسالات الهواء ولكن يوضح أن إستخدام النظام مع الأنظمة المغلقة الدوارة عندما تحتاج جميع الوحدات إلى صمامات موازنة ويكون لها هبوط ضغط متساوى. كما هو موضح بالشكل (٦- ١١)



شكل (٦-١١) نظام ملف – مروحة (أنبوبتان) مع راجع مباشر

مزايا النظام

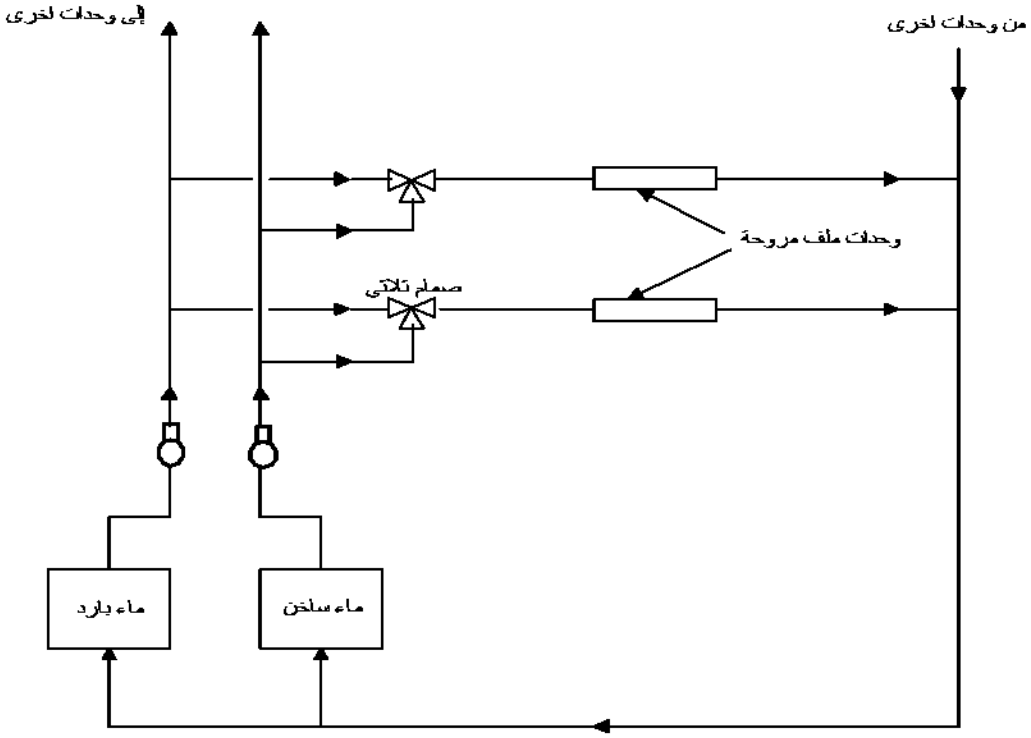
١. تكلفة الأنابيب قليلة مقارنة بنظام الأنبوب الراجع العكسى.
٢. يستخدم مع الأنظمة المفتوحة.

٢- النظام متعدد الأنبوب (Multi-Piping System)

يعمل النظام متعدد الأنبوب على تزويد ملفات الفان- كويل بالماء البارد والماء الساخن على مدار العام وعليه فإن كل وحدة تعتبر منفصلة وتعمل بمعزل عن الوحدات الأخرى، ويقوم صمام التحكم بتزويد الوحدة بالماء البارد أو الماء الساخن حسب الحاجة ويكون النظام متعدد الأنبو ب عادةً إما ثلاثى الأنبوب أو رباعى الأنبوب.

(أ) النظام ثلاثى الأنبوب (3-Pipe System)

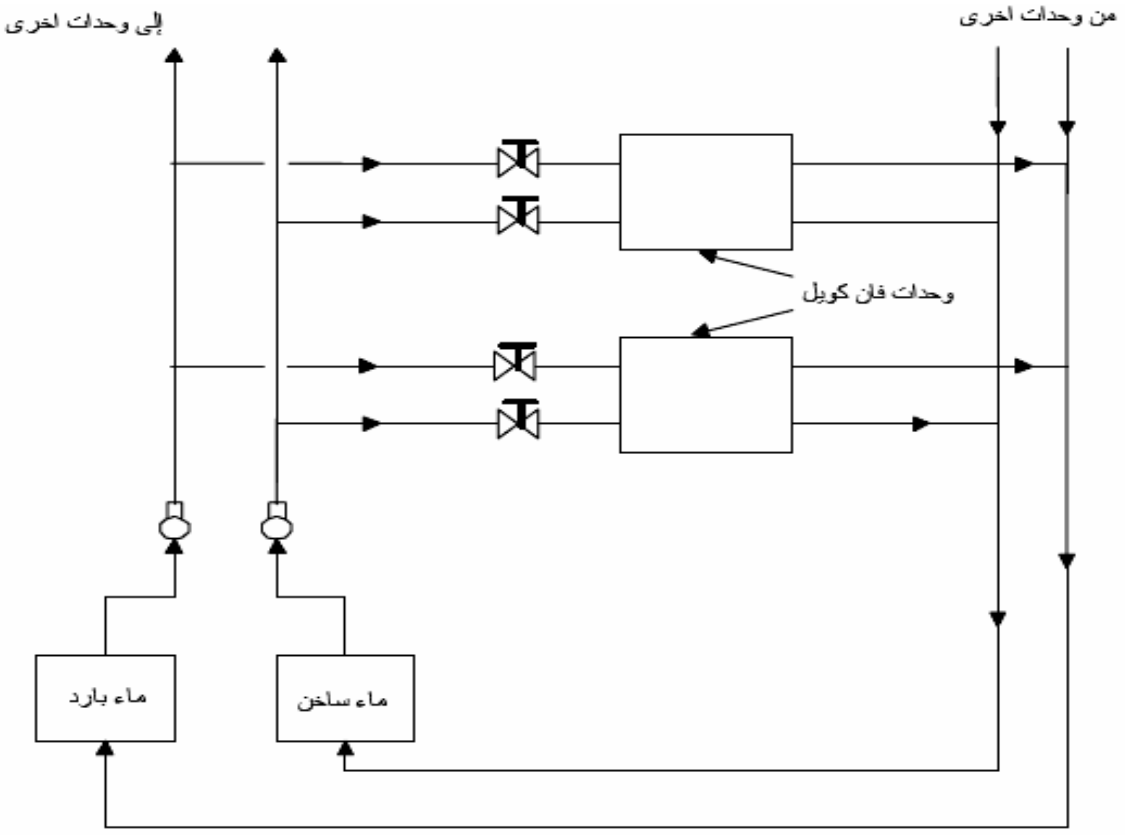
الشكل (٦-١٢) لوحدة ملف – مروحة تستخدم ثلاثة أنابيب واحدة لتغذية الماء البارد وأخرى لتغذية الماء الساخن للملف وراجع واحد مشترك وبالرغم من أن الأنبوب الراجع المشترك يجعل النظام الثلاثى الأنبوب أقل تكلفة من حيث الإنشاء إلا إن تكلفة التشغيل أعلى من النظام الرباعى الأنبوب نظرا لعملية خلط الماء البارد مع الماء الساخن .



شكل (٦-١٢) نظام ملف – مروحة ثلاثى الأنبوب

(ب) النظام رباعى الأنبوب (4-Pipe System)

يوفر هذا النظام دائرتين منفصلتين للماء البارد والماء الساخن الأمر الذى يقلل من مشاكل الماء كما يمكن إستخدام ملف واحد أو ملف منفصل بوحدة الفان- كويل الشكل (٦-١٣) يوضح النظام المذكور



شكل (٦-١٣) نظام ملف – مروحة رباعى الأنبوب

توجد طريقتان لتشغيل النظام المتعدد الأنبوب:-

- الطريقة الأولى

توفر التحكم فى درجة الحرارة على مدار العام وذلك بتزويد الماء البارد والماء الساخن للملف بإستمرار وعلى مدار أيام السنة.

- الطريقة الثانية

توفر إمداد الماء البارد والماء الساخن فى أوقات معينة حيث يتم فيها تشغيل مثلجات الماء أو المراجل للماء الساخن حسب درجة الحراة للهواء الخارجى.

مزايا النظام

- الإستجابة السريعة لضبط الثيرموستات نتيجة لتوفر الماء البارد والماء الساخن.
- عدم جدوى تقسيم المبنى إلى مناطق حسب الإتجاه.
- عدم الحاجة لتبديل التشغيل.
- التحكم فى درجات حرارة الغرفة على مدار العام.

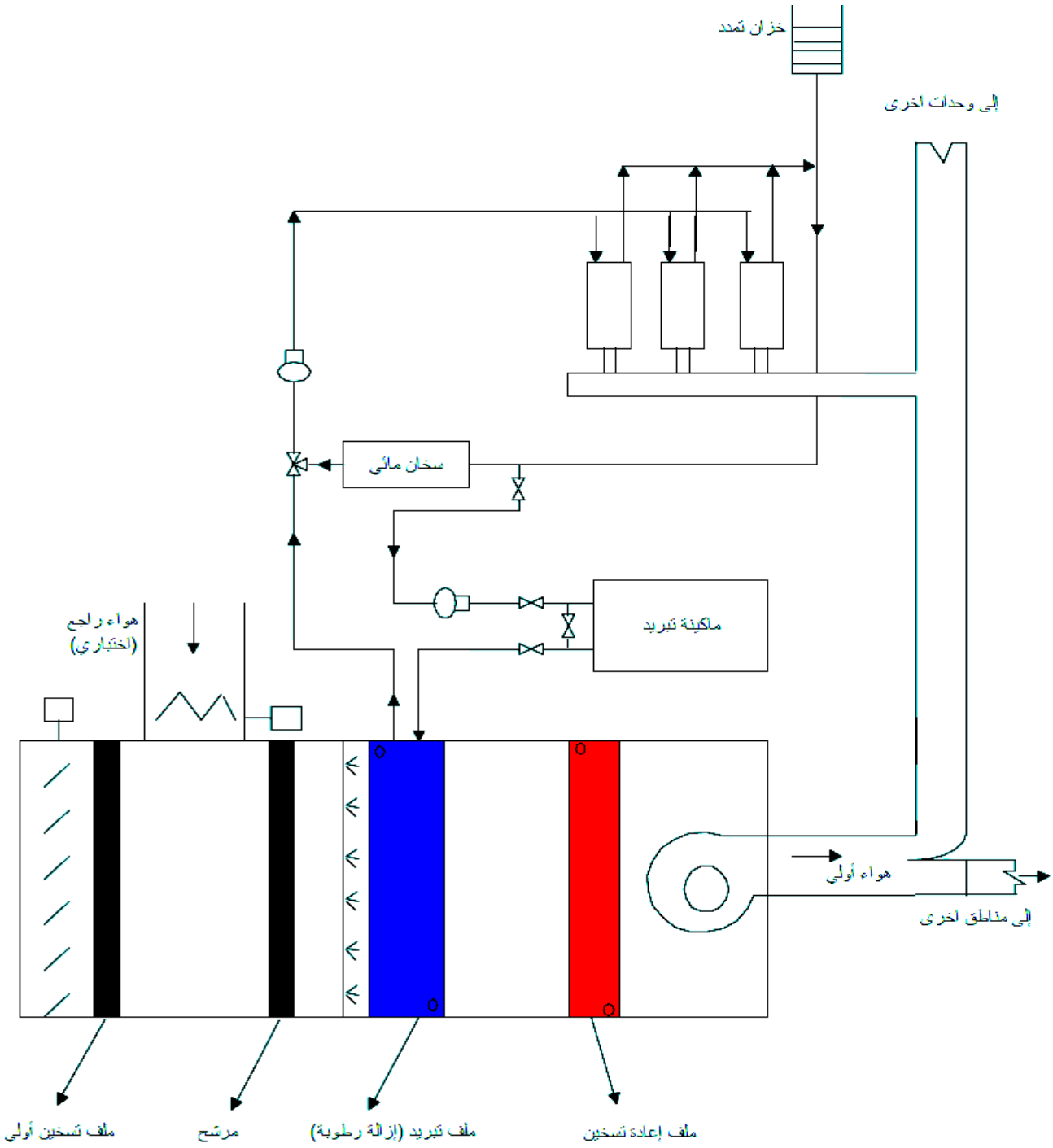
٣- أنظمة دوائر الهواء – الماء Air- Water System

النظام الثالث من أنظمة التكييف المركزى هو النظام المائى ــ الهوائى (Air – Water System) والذى يستخدم الماء والهواءمعاً للتبريد والتسخين.

نظام وحدة الحث (Induction Unit System)

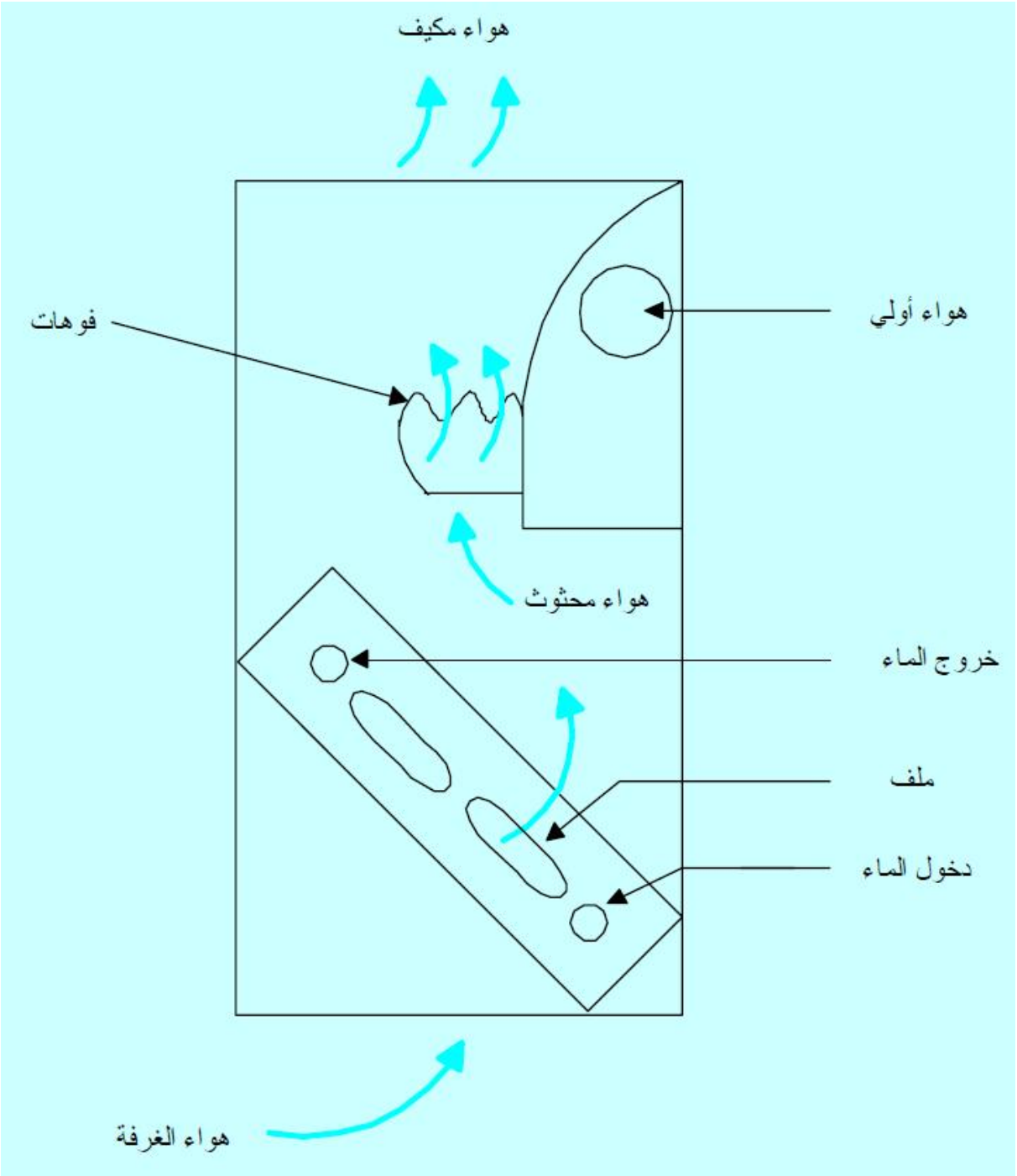
يستخدم نظام وحدة الحث الهوائى المائى فى الغرف المحيطة للمبانى متعددة الغرف متعددة الطوابق كالمكاتب، الفنادق، غرف المرضى بالمستشفيات وكذلك الشقق السكنية،ويضم هذا النظام خصيصاً للمبانى التى تمتاز بأحمال محسوسة ذات طبيعة إنعكاسية حيث تحتاج غرفة مثلا إلى تبريد فى حين أن الغرفة المجاورة تحتاج إلى تسخين بالإضافة إلى أن النظام يناسب أحمال المبانى الحديثة مثل ناطحات السحاب حيث أن مكان الأجهزة والمعدات يكون محدوداً .

والشكل (٦-١٤) يوضح نظام وحدة حث يستخدم هواءأولياً وهواءاخارجياً ويمكن استخدام هواء راجع إذا كان الهواء الأولى الكلى أكبر من أدنى متطلبات التهوية ويساعد ملف التسخين الأولى على زيادة قدرة الهواء على إمتصاص النداوة فى الشتاء ومنع الهواء المتجمد من دخول مزيل الرطوبة وتدفع المضخة الأولية الماء البارد من مثلج المياه إلى ملفات مزيل الرطوبة فى حين أن المضخة الثانوية تدفع الماء إلى وحدة الحث.



شكل(٦-١٤) نظام وحدة الحث

والشكل (٦-١٥) يوضح وحدة حث تم تزويدها بهواء أولى بضغط عالى يخرج من الأبواب الموجودة بالوحدة. وهذا الهواء يعمل على حث هواء الغرفة عبر الملف الذى يتم تزويده بماء من المضخة الثانوية وهذا الهواء المحثوث يتم تبريده أوتسخينه حسب درجة حرارة الماء الثانوية وكذلك حسب درجة حرارة الهواء المخلوط (الهواء الأولى والهواء المحثوث) الذى يتم دفعه للغرفة.



شكل (٦-١٥) وحدة الحث تستخدم للتبريد والتسخين والتهوية

٢ـ نظام وحدة ملف ــ مروحة هواء أولى (Primary Air Fan-Coil System)

تستخدم وحدة الملف ـ مروحة مع هواء أولى مع النظام الهوائى المائى وهى تشبه إلى حد كبير نظام وحدة الحث والفرق الأساسى هو إستبدال وحدة الحث بوحدة الملف – مروحة، وأكثر التطبيقات التى تناسب هذا النظام هى المبانى المتعددة الغرف كالفنادق، المستشفيات، الشقق حيث إن الوحدات يمكن تحويلها لتعمل فى الشتاء.

جهاز وحدة الملف – مروحة يتم تزويده بمصادر للماء الساخن أو البارد حسب درجة حرارة الجو الخارجى ومصدر التهوية.

الشكل (٦-١٦) يوضح المكونا الأساسية لوحدة الملف – مروحة التى تشتمل على مدخل للهواء الراجع من الغرفة ومدخل للهواء الأولى (اختيارى)، مرشح ، مروحة، ملفى تبريد، وتسخين ومخرج للهواء.

شكل (٦-١٦) وحدة ملف ومروحة

٣- الأسقف المبردة (Chilled Ceiling)

فى هذا النظام يتم تبريد الأسقف بطريقتين:

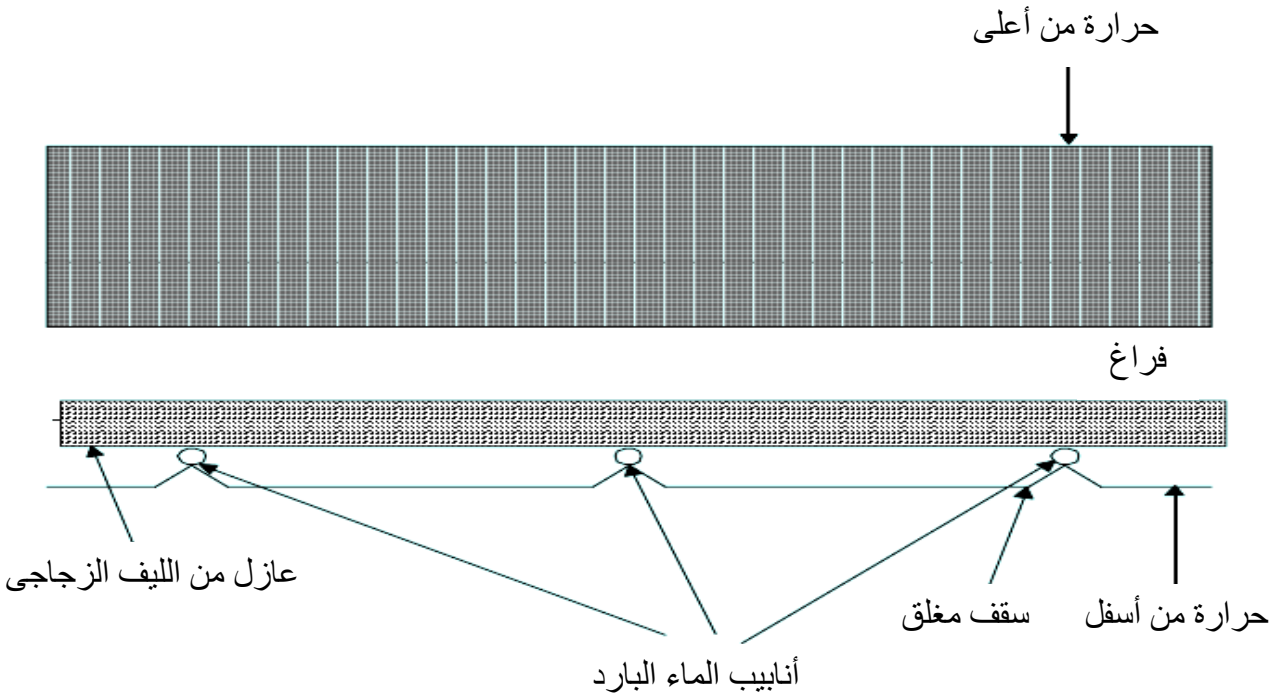
الطريقة الأولى

تستخدم فيها أنابيب فى شكل ملفات يتم دفنها داخل خرسانة السقف أثناء التشييد وتغطى من أسفل عن طريق التلييس أو غيرها، وتكلفتها الإبتدائية عالية وتستخدم مع سعات التبريد العالية وتكون المسافات بين الأنابيب متقاربة.

الطريقة الثانية

يتم فيها تعليق الأنابيب بواسطة قضبان قصيرة ومثبت فوقها عازل للسقف كما هو موضح فى الشكل (٦-١٧). والشركات المصنعة تنتجها فى أشكال مختلفة.

ويوجد عادة مع نظام الأسقف المبردة مصدر إضافى لتزويد الغرفة بالهواء المكيف لتغطية حمل التهوية وذلك بواسطة مجارى هواء وجريلات حائطية أو نواشر سقفية والنواشر السقفية ربما لا تناسب هذا النظام نسبة لأن إرتفاع السقف يكون قصيراً بحيث لا يسمح بتركيب المجارى بالإضافة إلى أن النواشر سوف تكون قريبة من الأرضية مما يتسبب فى حدوث ضوضاء داخل الغرفة.



الشكل(٦-١٧) يوضح سقف مبرد(Chilled Ceiling)

مزايا النظام:

بالرغم من أن هذا النظام غير شائع الإستخدام إلا أن له مزايا كثيرة وهى أنه:

- إقتصادى التشغيل.
- لا يشغل حيزاً من أرضية الغرفة.
- لا يحتاج إلى أعمال وصلات وتركيبات كالتى تحتاجها الوحدات الطرفية.
- هادئ التشغيل لوجود عازل فى السقف.

عيوب النظام:

نتيجة للأسباب الآتية نجد أن هذا النظام نادر الإستخدام وهى:

- تكلفته الإبتدائية عالية.
- وجود الأنابيب يشغل حيزاً أسفل السقف مما يعيق عملية إعادة تفصيل وتقسيم المبنى.
- ضرورة تركيب أسقف مستعارة فى الممرات تحت مجارى الهواء مع مصادر إضاءة مخفية (Recessed Light)

أماكن تركيب الوحدات الطرفية الهوائية (Location of Air Terminal Units)

١. وحدات طرفية بمصدرى هواء منفصلين (Separate Air Terminal Units)

(مثال وحدة الملف – مروحة هواء أولى)

الهواء الأولى: (Primary Air)

يتم تزويد مصدر الهواء الأولى بمخرج هواء تحت ضغط عالى، خوانق موازنة، بطانة خامدة للصوت وجهاز تخفيض للضغط، ويتم توزيعه الهواء من أسفل النوافذ، أو بجانب الحائط.

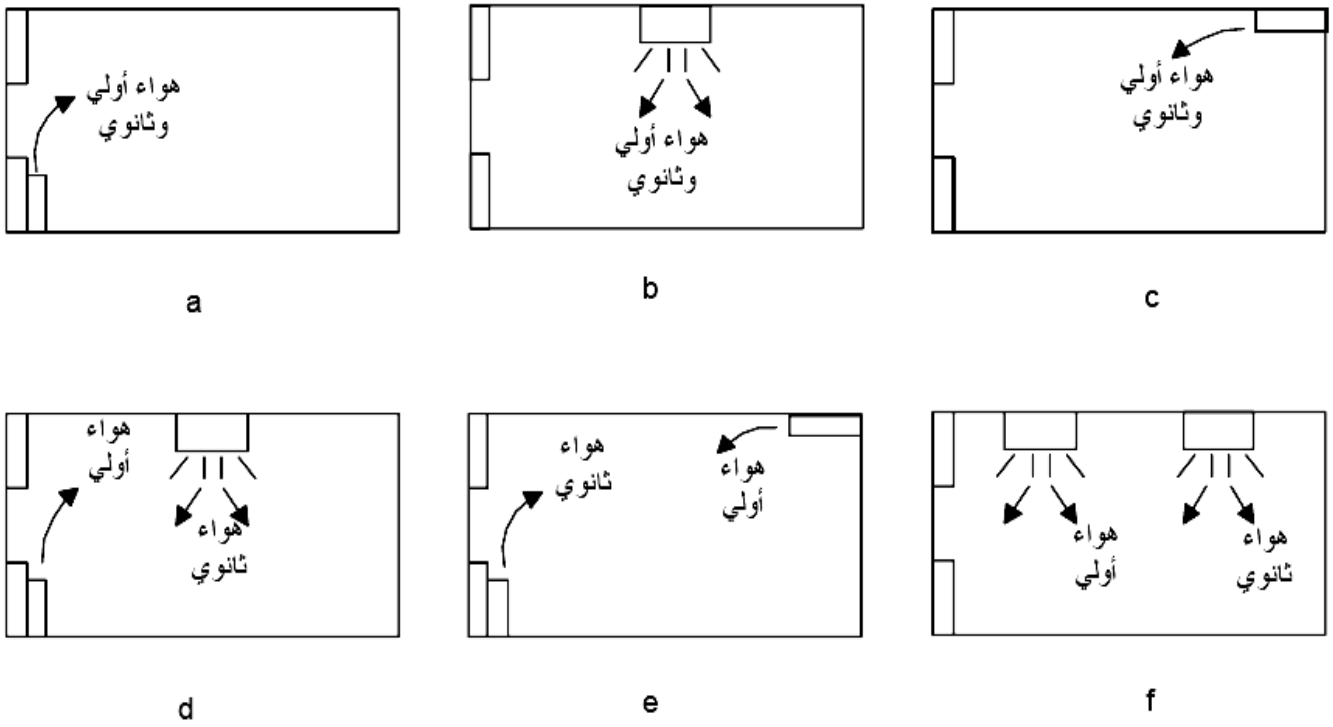
الهواء الثانوى: (Secondary Air)

هذه الوحدة (ملف – مروحة) يتم توزيع الهواء بها من الاسقف الجانبيه أو أسفل النوافذ ويجب أن تتحكم فى كمية الهواء المكيف الداخل للغرفة وتعمل على إسياب الهواء بصورة منظمة وهادئة ويجب أيضاً أن تزود بخامد للصوت وجهاز تحكم فى كمية الهواء.

٢. وحدات طرفية بهواء مخلوط (Air Mixing Terminal Units)

فى هذه الوحدات يتم خلط الهواء الأولى والهواء الثانوى قبل دخوله للغرفة، ويزود حيز الهواء الثانوى عادة بخوانق تحكم (Control Dampers) بينما يزود مجرى الهواء الأولى بخوانق موازنة (Balancing Dampers)، ويتم عزل صندوق الخلط بمادة خامدة للصوت والهواء يتم تصريفه خلال فتحة تصريف واحدة، ويجب الحظر عند تصميم هذه الوحداتنظراً لأن توزيع الهواء يتأثر عندما يتم خنق الهواء الثانوى لأن سرعة خروج الهواء سوف تتغير.

ويتم تركيب الوحدات عادة فى الأسقف، الجوانب، أو أسفل النوافذ، والشكل (٦-١٨) يوضح تركيب الوحدات الطرفية فى أماكن مختلفة من الغرفة.



شكل (٦-١٨) أماكن تركيب الوحدات الطرفية فى الغرفة

(a) وحدة أسفل النافذة.
(b) وحدة أسفلية.
(c) وحدة حائطية.
(d) وحدتان منفصلتان ، أسفل النافذة وسقفية.
(e) وحدتان منفصلتان، أسفل النافذة وحائطية.
(f) وحدتان منفصلتان سقفيتان.

الباب السابع : الأحمال الحرارية وحساباتها

Thermal Loads Calculations

الباب السابع: الأحمال الحرارية وحساباتها

مقدمة:

إن إنتقال الحرارة من الأشياء المؤثرةجداً بالنسبة لعملية التكييف فعندما تقوم بتكييفـمكاناً ما ونصل إلى الدرجة المطلوبة داخل هذا المكان فإذا وجد تسرب بهذا المكان فإن الحرارة سوف تنتقل من الدرجة الأعلى إلى درجة الحرارة الأقل عبر هذا التسرب مما يؤدى إلى زيادة الحمل على الوحدة مما ينتج عنه زيادة فترة تشغيل الوحدة مما يؤدى إلى زيادة إستهلاك الطاقة مما يترتب عليه زيادة التكلفة.

أهداف حساب الأحمال الحرارية للمكان:

١. حساب الحمل الحرارى المحسوس داخل المكان	Room Sensible load
٢. معرفه كميه هواء التغذية المطلوب للمكان	Supply air flow
٣. معرفه الحمل الحراري الكامن للمكان	Latent heat
٤. حساب حمل التبريد الكلى للمكان	Total Cooling load
٥. حساب كميه المياه المثلجة لكل وحده مناوله هواء	The amount of ice water
٦. إختيار الوحدات المناسبة لحمل المكان	Choose the appropriate units

طرق إنتقال الحرارة :

- تنتقل الحرارة بالتوصيل كما فى المواد الصلبة.
- تنتقل الحرارة بالحمل كما فى السوائل والغازات.
- تنتقل الحرارة بالإشعاع.

أولاً : انتقال الحرارة بالتوصيل يسمى (Conduction) :

ويتم ذلك بالأجسام الصلبة فعندما يتلامس جسمان أحداهما ساخن والأخر بارد فإن الحرارة تنتقل من جزيئات الجسم الساخن إلى جزيئات الجسم البارد حتى تحدث تقريباً عملية اتزان حرارى بينهما ويتم معرفة مقدار كمية الحرارة المنتقلة عن طريق هذه المعادلة الرياضية: $Q = K.A. (\Delta T / \delta)$ watt

حيث أن :

K : معامل إنتقال الحرارة ويختلف من مادة إلى أخرى ويكون رقم ثابت ووحدته (w/m.k)

A : مساحة سطح التبادل الحراري ووحدته (m)

ΔT: درجات الحرارة بين الجسمين ووحدته (K, C, F)

(δ): سمك المادة العازلة

نلاحظ من هذه المعادلة أن :

$$Q \alpha k$$

كمية الحرارة تتناسب طرديآ مع معامل إنتقال الحرارة أى كلما زادت قيمة (k) زادت كمية الحرارة المنتقلة والعكس صحيح.

$$Q \alpha 1 \backslash \delta$$

كمية الحرارة تتناسب عكسيا مع السمك أى كلما زاد السمك قلت كمية الحرارة المنتقلة والعكس صحيح .

ثانيا : انتقال الحرارة بالحمل : (CONVECTION)

ويتم ذلك فى الموائع والغازات أى (السوائل – الغازات) ويتم انتقال الحرارة أيضا من الساخن إلى البارد حيث تنتقل الجزئيات الساخنة ويحل محلها جزيئات باردة وتعتمد هذه العملية على:

المعادلة الرياضية التى يمكن بواسطتها معرفة كمية الحرارة المنتقلة

$$Q=h\times A\times \Delta T \quad Watt$$

حيث :

(h) معامل انتقال الحرارة ووحدته w/m.k.

(A) مساحة سطح التبادل الحراري ووحدة m

(ΔT) فرق درجات الحرارة ووحدة K

ثالثا :انتقال الحرارة بالإشعاع :(RADAITION)

يتم إنتقال الحرارة فى هذه الحالة عن طريق الأجسام المشعة مثل الشمس والتى تكون درجة حرارتها مرتفعة وتنتقل الحرارة فى الفراغ أو الغازات وتنتقل من الساخن إلى البارد ويمكن حساب كمية الحرارة عن طريق هذه المعدلة الرياضية .

$$Q = \sigma\ A\ ((T2 / 100) – (T1 / 100))$$

حيث :

(σ) = معامل الإمتصاص الحرارى للإشعاع ووحدته (w/m .k)

A = مساحة التبادل الحراري (m)

T2 = درجة الحرارة للسطح المشع (K)

T1 = درجة حرارة السطح المستقبل للإشعاع الناتج من الجسم المشع ووحدته (K)

<u>أنواع الأحمال الحرارية</u>

ويمكن تقسيم الحمل الحرارى للغرفة إلى قسمين رئيسيين هما:

أحمال خارجية وأحمال داخلية:

الأحمال الخارجية هى: كمية الحرارة المنتقلة خلال الجدران والأسقف والأرضيات والنوافذ والتسرب للهواء من الخارج إلى داخل المكان المكيف والتهوية .

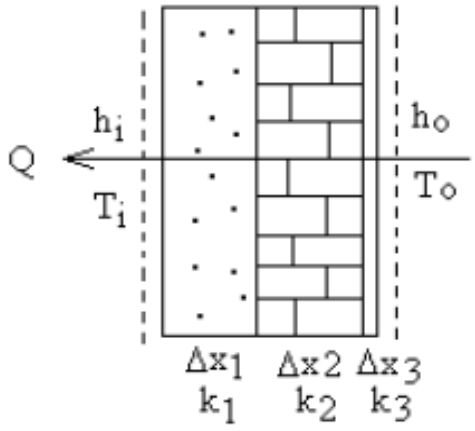
الأحمال الداخلية هى: الحمل الحرارى الناتج عن الأشخاص والإضاءة والأجهزة الكهربية وأى مصادر حرارية محسوسة أو كامنة موجودة بالمكان المكييف.

الأحمال الخارجية External heat gains :

١ - أحمال التوصيل خلال الجدران والأسقف Heat transmission through walls :

الحرارة المنتقلة بالتوصيل خلال الجدران والأسقف والأرضيات إذا كانت الأرضية معرضة للهواء الخارجى وليس فراغ مكيف، والحرارة تنتقل نتيجة فرق درجات الحرارة بين الوسط الخارجى والداخلى للمكان المكيف ويتم حسابها من معادلة فورير لإنتقال الحرارة خلال الجدران المركبة والمعرضة أسطحها الخارجية والداخلية للحمل الحرارى، فإذا أعتبرنا أن مقطع الجدار كما هو موضح من مواد بناء مختلفة مثل الطوب والمحاره والعازل الحرارى وطبقة الهواءال جدارية الخارجية والداخلية فإن:

معامل انتقال الحرارة الكلى للجدار يحسب كما يلى:



شكل (٧-١) إنتقال الحرارة بالتوصيل والحمل خلال جدار مستوى ومركب

$$\frac{1}{U}=\frac{1}{h_i}+\frac{\Delta x_1}{k_1}+\frac{\Delta x_2}{k_2}+\frac{\Delta x_3}{k_3}+\frac{1}{h_o}$$

حيث Δx تمثل سمك المادة المكونة للجدار كلاً على حدة، k هو معامل التوصيل الحرارى لكل مادة و h_i, h_o هى معامل انتقال الحرارة بالحمل لطبقة الهواء الملاصقة لسطح الجدار الخارجى والداخلى على التوالى ، U هو معمل انتقال الحرارة الكلى عبر الجدار، A هى مساحة سطح الأنتقال وتحسب كمية الحرارة المنتقلة بالتوصيل Q_T من المعادلة الأتية:

$$Q_T = UA\Delta T$$

وفرق درجات الحرارة ΔT هو فرق درجة الحرارة بين الوسط الخارجى وداخل المكان مضافاً له معامل تصحيح ويسمى فرق درجات حرارة حمل التبريد $CLTD$ لتعويض أشعة الشمس الساقطة على المبنى ويحسب كما يلى:

$$\Delta T = (CLTD + LM).K + (25.5 - T_R) + (T_o - 29.4)$$

ودرجة حرارة الجو الخارجى 29.4 °C والمدى 11.6 °C الذى هو الفرق بين أقل درجة حرارة وأقصى درجة حرارة على مدار اليوم والإشعاع الشمسى عند خط عرض ° 40 شمالا يوم 21 يوليو، LM هو معامل تصحيح تبعاً لخط العرض والشهر والإتجاه، K هو معامل تصحيح اللون للجدار ويأخذ $K=1$ لحائط غامق أو فاتحا فى منطقة صناعية ، $K=0.83$ إذا كان الحائط متوسط اللون أو $K=0.65$ إذا كان الحائط فاتح اللون فى منطقة نائية، $CLTD$ تأخذ من الجداول تبعاً للجدران المختلفة حسب موقعها تبعاً للإتجاهات الأربعة ونوعيتها والوقت الشمسى، T_R هى درجة حرارة الغرفة، T_o هى درجة حرارة الجو الخارجية المتوسطة على مدار اليوم وتحسب من المعادلة التالية:

$$T_o = T_m - \Delta T_m \times P_c$$

حيث T_m هى درجة حرارة الهواء القصوى خلال اليوم، P_c هو المدى بين أقصى درجة حرارة وأقل درجة حرارة فى اليوم ويأخذ عادةً بين $P_c = 11 \sim 14$ فى أشهر الصيف حسب المنطقة الزمنية وخط العرض ، ΔT_m النسبة المئوية لمدى التغير فى درجة حرارة الجو عند ساعة حساب الحمل الحرارى.

جدول (٧-١) نسبة مدى التغير فى درجة حرارة الهواء مع الوقت الشمسى

الوقت الشمسى	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
النسبة المئوية لمدى التغير فى درجة الحرارة % ΔT_m	87	92	96	99	100	98	93	84	71	56	39	23
الوقت الشمسى	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
النسبة المئوية لمدى التغير فى درجة الحرارة % ΔT_m	11	3	0	3	10	21	34	47	58	68	76	82

بالنسبة للأسقف تطبق نفس المعادلة السابقة للأسقف مع الحصول على معاملات التصحيح من جداول الأسقف كمايلى:

$$\Delta T = [(CLTD + LM).K + (25.5 - T_R) + (T_o - 29.4)] \times F$$

حيث F معامل يأخذ عادةً مساوياً للواحد الصحيح للأسقف العادية إلا إذا كان السقف معزولا أو عند وضع مروحة فى الفراغ بين السقف والسقف المعلق لإخراج الهواء أو عند وضع ممرات رجوع الهواء فى هذا الفراغ، وفى كل هذه الحالات تكون $F=0.75$ ، K هو معمل تصحيح اللون للسقف ويأخذ $K=1$ لسقف غامق أو فاتح فى منطقة صناعية ، $K=0.5$ لسقف فاتح على الدوام.

٢- التوصيل والإشعاع عبر النوافذ Transmission and radiation through glass

الحرارة المنتقلة بالتوصيل والأشعاع خلال النوافذ Q_W ، نحسب أولا الحرارة المنتقلة بالتوصيل خلال سمك الزجاج ومعرض من الخارج والداخل لطبقة هواء جدارية ثم يجمع عليها الحرارة المنتقلة بالأشعاع كما يلى:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_o}$$

$$Q_W = A(U \times \Delta T + Sc \times SHFG_{\max} \times CLF)$$
$$\Delta T = CLTD + (25.5 - T_R) + (T_o - 29.4)$$

فرق درجة حرارة حمل التبريد $CLTD$ فى هذه المعادلة يأخذ من جداول النوافذ أما معامل التظليل Sc وهو نسبة الأشعاع الشمسى الذى ينفذ من زجاج النوافذ إلى ذلك الذى ينفذ من نافذة مكونة من زجاج طبقة واحدة أبيض عادى بسمك $3\ mm$ ويأخذ من جداول معامل التظليل للزجاج المفرد والزجاج العازل وأيضاً تبعاً لوجود ستائر وكذلك لونها ونوعيتها، $SHGF_{max}$ وهو أقصى مقدار من الكسب الشمسى أو الإشعاع الشمسى النافذ من زجاج عادى بسمك $3\ mm$ خلال اليوم ويتوقف على خط العرض وزاوية سمت الزجاج ويأخذ من الجداول، CLF وهو معامل حمل التبريد ويأخذ بسبب ظاهرة التخلف الزمنى والتوهين الناتجين من إمتصاص الإشعاع ثم إعادة إنطلاقها وهذا يتوقف السعة الحرارية للجدران ونوع الأثاث والستائر، وقد صنف إلى ثلاثة مستويات L خفيفة ، M متوسطة، ثقيلة H، ويتم تصحيح معامل أنتقال الحرارة الكلى U لكى يتناسب مع سرعة الرياح ونوع أطار الشباك.

٣- أحمال حرارية ناتجة عن التسرب والتهوية Ventilation and Infiltration

ينتج تسرب الهواء إلى الحيز من خلال الخلوص بين الأبواب والشبابيك والحوائط نتيجة سرعة الهواء وفرق درجات الحرارة وأيضاً عند فتح الأبواب، أما التهوية فهى إدخال كمية من الهواء إلى الحيز المكيف لتقليل نسبة ثانى أكسيد الكربون والتخلص من الروائح والتلوث فى المكان، ونحسب عدد مرات تغير هواء الغرفة لكل ساعة N_A لمبنى صغير نتيجة التسرب من هذه المعادلة:

$$N_A = a + b\mathrm{v} + c(T_o - T_R)$$
$$\dot{m}_{\inf} = N_A \times V \times \rho$$

حيث $\dot{m}_{\inf}$ هى كمية هواء التسرب، v هى سرعة الريح m/s ، V حجم الحيز المكيف m^3 ، ρ كثافة الهواء وثوابت معادلة التسرب تأخذ من الجدول التالى:

جدول (٧-٢) ثوابت معادلة عدد مرات تغير الهواء لمبنى صغير نتيجة التسرب

نوع المبنى	a	b	c
محكم	0.15	0.010	0.007
متوسط الاحكام	0.20	0.015	0.014
غير محكم	0.25	0.020	0.022

ويمكن حساب معدل التسرب باستخدام جداول أخرى أو نسب للتغير كل ساعة من حجم المكان المكيف مثل 0.15 ~ 0.4 من حجم الغرفة كل ساعة أو تبعاً لتقدير المصمم، أما التهوية فهى معدل إحتياج الشخص الواحد لهواء التنفس $\dot{V}$ مضروباً فى عدد الأشخاص N_P وهى أيضاً كمية الهواء الطازجة التى يجب خلطها مع الهواء الراجع لتدويرها فى وحدة مناولة الهواء فى أنظمة تكييف الهواء وتحسب كالآتى:

$$\dot{m}_V = N_P \times \dot{V} \times \rho$$

جدول (٧-٣) معدل هواء التهوية للأشخاص لتر/ث

نوع الحيز	عدد الأشخاص / 100 م^2 من الأرضية	التهوية لكل شخص Lit/s	
		مدخنين	غير مدخنين
مكتب	7	10	2.5
أماكن اجتماعات وانتظار	60	17.5	2.5
أماكن جلوس	30	7.5	2.5

ويكون الحمل الحرارى المحسوس والكامن والحمل الكلى Q_{leak} نتيجة هواء التسرب والتهوية هو:

$$Q_{Sleak} = (\dot{m}_{\inf} + \dot{m}_V) \times C_P \times (T_o - T_i)$$
$$Q_{Lleak} = (\dot{m}_{\inf} + \dot{m}_V) \times (\omega_o - \omega_i) \times h_{fg}$$
$$Q_{Leak} = Q_{Sleak} + Q_{Lleak}$$

حيث C_P الحرارة النوعية للهواء عند ثبوت الضغط، ω_i ، ω_o هى نسبة الرطوبة الخارجية والداخلية، h_{fg} الحرارة الكامنة لتبخير الماء عند درجة حرارة الغرفة.

الأحمال الداخلية Internal heat gains

١- حمل الأشخاص Human load

هى كمية الحرارة الناتجة من الأشخاص الموجودين فى المكان المكيف وتتوقف على نوعية النشاط الذى يقوم به الشخص وتنقسم أيضاً إلى كمية حرارة محسوسة وكمية حرارة كامنة كما يلى:

$$Q_{SP} = N_P \times CLF \times H_S$$
$$Q_{LP} = N_P \times H_L$$

حيث H_S كمية الحرارة المحسوسة للشخص الواحد، CLF معامل الحمل الحرارى لكمية الحرارة المحسوسة الصادرة من الأشخاص تبعاً لعدد الساعات الكلية المتواجدين فيها بالمكان، H_L هى الحرارة الكامنة للشخص الواحد، وتحسب كمية الحرارة المحسوسة والكامنة من الجدول التالى:

جدول (٧-٤) كمية الحرارة بالوات الصادرة من الأشخاص عند درجة حرارة الغرفة.

نوع النشاط	كمية الحرارة الكلية من الشخص W	درجة حرارة الغرفة الجافة							
		20 °C		22 °C		24 °C		26 °C	
		S	L	S	L	S	L	S	L
جلوس بارتياح	115	90	25	80	35	75	40	65	50
أعمال مكتبية	140	100	40	90	50	80	40	70	70
وقوف	150	105	45	95	55	82	68	72	78
مطاعم	160	110	50	100	60	85	75	75	85
عمل خفيف فى مصنع	235	130	105	115	120	100	135	80	155
أعمال بدنية	265	140	125	125	140	105	160	90	175

٢- حمل الأضاءة Lighting load

يعتمد حمل الأضاءة على القدرة الكهربية المستخدمة، وفى المعتاد تحسب القدرة الكهربية للأضاءة مكافئة لحوالى $10\sim20\ W/m^2$ من مساحة أرضية الغرفة وتزداد فى أماكن القراءة والرسم وغرف العمليات ويجب ملاحظة أن اللمبات الفلورسنت الطاقة الحرارية الناتجة عنها تزيد عن قدرة اللمبات العادية لمعادلة الحرارة الناتجة فى المحولات الكهربية وتستخدم المعادلة التالية لحساب الطاقة الحرارية الناتجة من الأضاءة:

حيث أن F_u هو معامل الأستعمال أو الإستخدام ويساوى قدرة اللمبات المستعملة إلى قدرة المبات الكلية فى المكان وعادةً يساوى 1 فى حالة الأضاءة الكاملة، أما F_b وهو معامل كبح التيار الكهربى ويساوى 1 للمبات العادية ويساوى 1.2 للمبات الفلورسنت، وشدة الأضاءة LR تحسب بالوات لمساحة الأرض A_F كما يلى:

$$LR = (10 \sim 20 W/m^2) \times A_F$$

وحيث أن الطاقة الحرارية الصادرة عن الأضاءة تكون على شكل إشعاع حرارى فإن الجدران والأسقف والأرضيات والأثاث تمتص هذه الطاقة الحرارية وتبثها بعد ذلك مسببتاً التخلف الزمنى أو التوهين للحمل الحرارى اللحظى للغرفة، ومعامل الحمل الحرارى للأضاءة CLF يعتمد على طريقة تثبيت اللمبات وأثاث الغرفة وترتيبات التهوية تحت السقف وزمن الأضاءة.

٣- حمل الأجهزة الكهربية Appliances load

تجمع القدرات الكهربية للأجهزة المستخدمة فى الغرفة مثل حاسب آلى أو تليفزيون أو كاميرات أو مكواة أو ثلاجات تبعاً لكتالوجات الشركات المصنعة وفى حالة وجود محركات كهربية نضرب قدرة المحرك فى (1-η) حيث η كفائة المحرك وتكون كمية الحرارة هى:

$$Q_{App} = \sum Power$$

وفى حالة وجود أجهزة مثل ماكينة قهوة أو بوتجاز للطبخ أو ما شابه ذلك نأخذ فى الأعتبار كمية الحرارة المحسوسة والكامنة عن كل جهاز من جداول المواصفات أو كتالوجات الشركات المصنعة.

٤- أحمال نظام التكييف System heat gains

وهى الأحمال الحرارية الناتجة عن مرور مجارى الهواء فى أماكن غير مكيفة حيث أن درجة حرارة هواء التغذية داخل المجرى الهوائى تكون حوالى 10~15 °C فيحدث أنتقال حرارى بين هواء التغذية والوسط الخارجى ويحسب كما يلى:

$$Q_{Sload} = U \times A \times (T_a - T_s)$$

حيث U هو معامل أنتقال الحرارة الكلى خلال سمك مادة المجرى الهوائى والعازل الحرارى وبين هواء التغذية والوسط الخارجى، A مساحة السطح الخارجية للمجرى الهواء، T_a هى درجة حرارة الهواء الخارجى، T_s هى درجة حرارة هواء التغذية، ويضاف حوالى 5~10 % كناتج للتسرب بين

وصلات المجرى الهوائى إذا كان المجرى الهوائى خارج المكان المكيف ويوجد به تسرب للهواء البارد بين الوصلات، ويأخذ أيضاً فى الأعتبار كمية الحرارة الناتجة عن محرك المروحة لهواء التغذية فى وحدة مناولة الهواء إذا كانت داخل المجرى الهوائى، وإذا كان مجرى الهواء الراجع أيضاً خارج المكان المكيف نحسب الفقد الحرارى له مثل مجرى هواء التغذية ونسبة التسرب.

٥- معامل الأمان Safety Factor

هو معامل أمان يأخذ فى الأعتبار لبعض بنود الحمل الحرارى التى يصعب حسابها ويقدر 5~10% من الحمل الكلى أو تبعاً لتقدير المصمم.

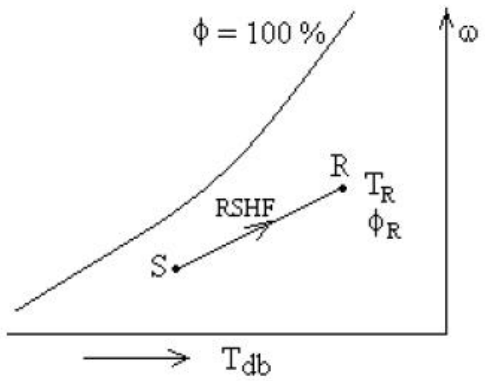
معامل الحمل المحسوس للغرفة *RSHF*

وهو نسبة الحمل المحسوس إلى الحمل الكلى للغرفة كمايلى:

$$Q_S = \sum_1^i Q_{S,i} \quad , \quad Q_L = \sum_1^i Q_{L,i} \quad , \quad Q_{Total} = Q_S + Q_L$$

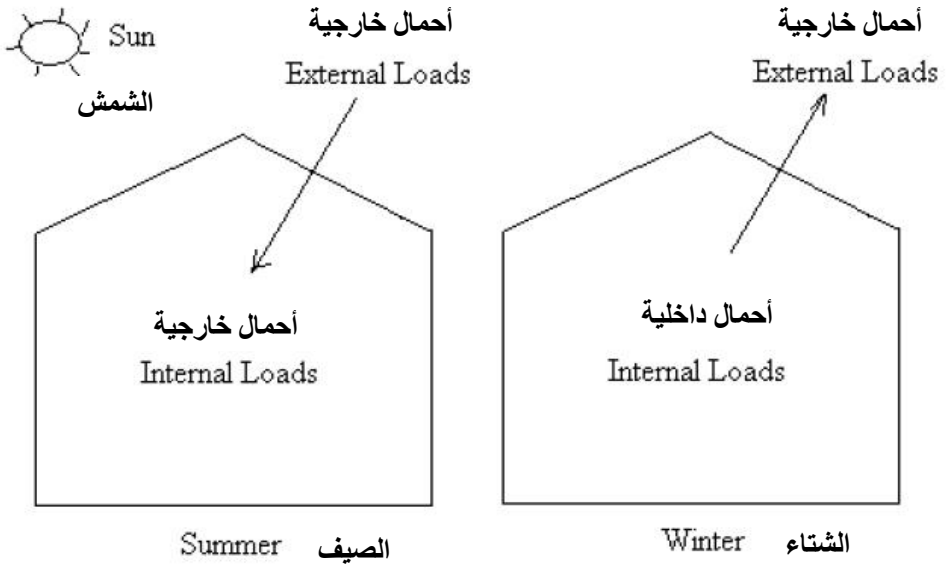
$$RSHF = \frac{Q_S}{Q_{Total}} = \frac{Q_S}{Q_S + Q_L}$$

وهذا المعامل يحدد اتجاه إجراء الغرفة على خريطة الهواء الرطب حيث أن الغرفة المكيفة تكون ظروف الراحة الحرارية والتصميم هى نقطة R عند درجة حرارة $T_R = 22\ ^oC \pm 2$ والرطوبة النسبية $\phi_R = 45\ \% \pm 5$ وأيضاً ظروف هواء التغذية فى فصل الصيف تكون عند النقطة s وهى دائماً تقل عن درجة حرارة الغرفة بحوالى من 5 ~ 10 °C ، والرطوبة النسبية لهواء التغذية عند الحالة s تكون حوالى 85~ 95 % كما بالرسم التالى:



شكل (٧-٢) معامل الحرارة المحسوسة للغرفة *RSHF* صيفاً.

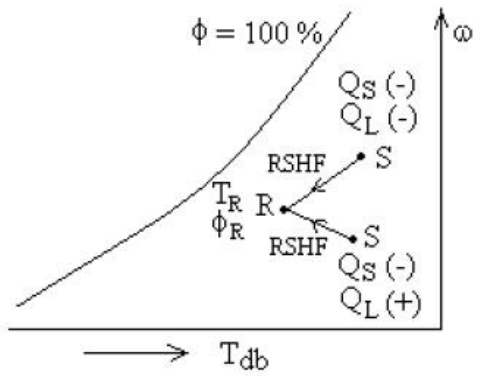
مما تقدم يجب ملاحظة أنه فى فصل الصيف يكون الوسط الخارجى عند أقصى حمل حرارى وليكن الساعة 15 بعد الظهر فى شهر يوليو أو أغسطس تبعاً للظروف المناخية للمنطقة بالنسبة لخط العرض ولتكن $T_o = 40\,^oC,\ \phi_o = 60\ \%$ فالوسط الخارجى يكون أعلى من ظروف الغرفة المكيفة ولذلك فإن الأحمال الخارجية والأحمال الداخلية تجمع وتكون هى حمل التبريد المطلوب تصميم جهاز التكييف واختيار دورة تكييف الهواء على أساسه كما بشكل (٢-٣)، أما فى فصل الشتاء فإن الظروف الخارجية تكون باردة وأن أقل درجة حرارة تكون فى الليل تبعاً للظروف المناخية للمنطقة بالنسبة لخط العرض ولنفرض أن $T_o = 5\,^oC,\ \phi_o = 60\ \%$ ولا يوجد إشعاع شمسى عند أدنى درجة حرارة فى الليل ولذلك نستخدم المعادلات السابقة لحساب أحمال التوصيل ولا نأخذ فى الأعتبار تأثير الأشعاع الشمسى سواءً على الجدران والأسقف أو النوافذ كما هو بشكل (٧-٣) ولذلك فإن الأحمال الداخلية تطرح من الأحمال الخارجية والباقى يكون هو حمل التدفئة المطلوب وهذا الحمل هو الذى يجب تصميم نظام التدفئة أو دورة تكييف الهواء على أساسه.



شكل (٧-٣) الأحمال الحرارية صيفاً وشتاءً.

فى فصل الشتاء يجب ملاحظة أن الفقد الحرارى من الغرفة (الأحمال الخارجية) تكون أعلى باستمرار من الأحمال الداخلية، ولذلك فإن اشارة الحمل المحسوس سالبة دائماً، وهذا يعنى أن صافى كمية الحرارة المحسوسة تنتقل من الغرفة إلى الخارج ويجب إضافة كمية حرارة مماثلة للحفاظ على الغرفة عند ظروف الراحة الحرارية النقطة R ، أما اشارة الحمل الكامن الصافى فهى تتوقف على الفرق بين الحمل الكامن للمصادر الداخلية للغرفة وهى موجبة والحمل الكامن للتسرب والتهوية وهى سالبة، فإذا

أتفقت أشارة الحمل المحسوس السالبة مع أشارة الحمل الكامن السالبة فإن نقطة S وهى ظروف هواء التغذية للغرفة يجب أن تكون أعلى يميناً من نقطة R كما هو مبين فى شكل **(٧-٤)** إتجاه معامل الحرارة المحسوسة للغرفة الخط $S \rightarrow R$ يكون من أعلى يميناً إلى أسفل بحيث نقطة S تكون أعلى فى درجة الحرارة الجافة وأيضاً أعلى فى نسبة الرطوبةلإضافة حمل محسوس وحمل كامن للغرفة للوصول لظروف الراحة الحرارية. أما إذا كانت اشارة الحمل الكامن الصافى موجبة فتختلف عن إشارة الحمل المحسوس فإن نقطة S تكون أسفل يميناً من نقطة R **بشكل (٧-٤)** وإتجاه معامل الحرارة المحسوسة للغرفة الخط $S \rightarrow R$ يكون من أسفل يميناً إلى أعلى وظروف نقطة S أعلى فى درجة الحرارة الجافة وأقل فى نسبة الرطوبة.

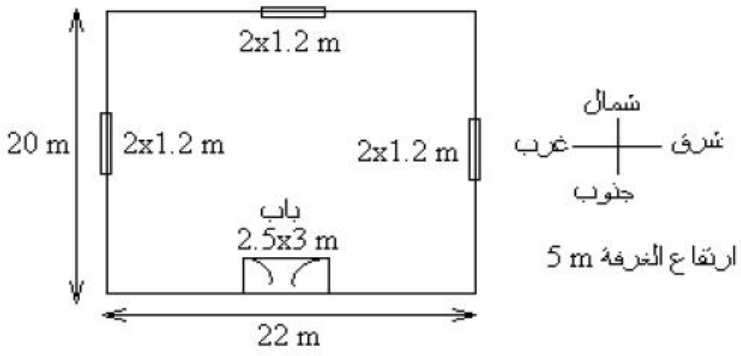


شكل (٧-٤) معامل الحرارة المحسوسة للغرفة *RSHF شتاءً*.

مثال (١)

أحسب حمل التبريد للغرفة الموضحة بالشكل وتقع عند خط عرض 30 شمالاً فى يوم 21 يوليو الساعة 14 بتوقيت شمسي إذا كانت درجة حرارة الغرفة 24 °C ورطوبة نسبية 50 % ودرجة حرارة الجو الخارجي 40 °C ودرجة حرارة رطبة 30 °C ، والسقف من الخرسانة بسمك 15 cm وطبقة بلاط سقف بسمك 5 cm ومحار من الداخل بسمك 2 cm والحوائط من الطوب المفرغ بسمك 20 cm وتشطيب بالمحار من الداخل والخارج بسمك 3 cm من كل جهة وشدة الإضاءة 15 W/m^2 من مساحة الأرضية والمصابيح فلوروسنت وأساس مكتبي متوسط وساعات العمل من 8 حتى 16 مساءً والأرضية من الخرسانة بسمك 10 cm مغطاة بالبلاط بسمك 5 cm والغرفة بها 30 شخص للأعمال الكتابية والحمل الكهربي للأجهزة 3 kW ، والنوافذ من الزجاج العادى بسمك 3 mm وستائر من نسيج ثقيل متوسط اللون والباب من خشب البلوط بسمك 5 cm ومعامل انتقال الحرارة بالحمل على السطح الداخلي للجدران $h_i = 9\ W/m^2.K$ والسطح الخارجي للجدران $h_o = 23\ W/m^2.K$ ومعامل التوصيل الحراري لمواد البناء المستخدمة كالآتي:

المادة	معامل التوصيل K (W/m k)	المادة	معامل التوصيل K (W/m k)
طوب أحمر	0.85	بلاط	0.67
طوب مفرغ	0.61	خشب	0.16
خرسانة	1.1	زجاج	1.4
محارة	0.72	عازل حراري	0.039



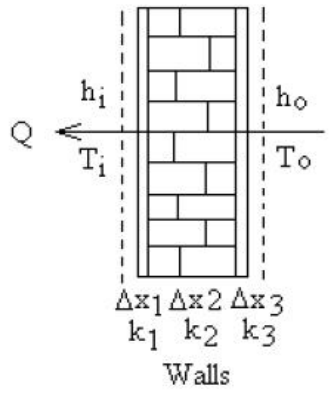
مخطط الغرفة

أفرض أن كثافة الهواء 1.18 kg/m^3 والحرارة النوعية للهواء 1005 J/kg والحرارة الكامنة للتبخير $L.T = 2454\ 10^3\ J/kg$.

الحل

أحمال التوصيل خلال الجدران والسقف والأرضية : Q_T

تتكون الجدران جميعها كما بالرسم طوب مفرغ وطبقة محار من الداخل والخارج وطبقة جدارية من الهواء داخلية وخارجية:



$$\frac{1}{U}=\frac{1}{h_i}+\frac{\Delta x_1}{k_1}+\frac{\Delta x_2}{k_2}+\frac{\Delta x_3}{k_3}+\frac{1}{h_o}=\frac{1}{9}+\frac{0.03}{0.72}+\frac{0.20}{0.61}+\frac{0.03}{0.72}+\frac{1}{23}=0.566 \qquad m^2.k/W$$

$$U=1.767 \qquad W/m^2.k$$

وحيث أن الجدران فى منطقة الدلتا والقاهرة والإسكندرية تتكون من طوب أحمر أو أسمنتى مفرغ أو خرسانة ومحار من الداخل والخارج ودهان زيتى ولا يستخدم عازل حرارى فى عزل المبانى إلا نادراً وللأغراض الخاصة مثل مخازن التجميد والحفظ، فإن مواصفات حوائط البناء حسب معامل انتقال الحرارة الكلى المحسوب U تتفق مع مواصفات جدران النوعية B للمواصفات الأمريكية من الجداول المستخدمة، وعلى هذا يمكن استعمال القيم التالية فى حساب انتقال الحرارة خلال الجدران.

خط عرض 30 شمالاً	شرق	غرب	شمال	جنوب	سقف	زجاج	للإضاءة	للأشخاص
CLTD °C للجدران B	13	8	5	7	22	7		
LM	0	0	0.5	-2.1	0	0		
k	0.83				1			
F					1			
$SHGF_{max}$ (W/m^2)	678	678	204	128	865			
الكسب الشمسى من الزجاج								
Sc						0.64		
CLF	زجاج نوافذ وأبواب						0.76	0.89
	0.22	0.53	0.86	0.68				
معامل تصحيح U للزجاج	أطار الشباك					0.9		
	سرعة الرياح					1.14		

ومعامل اللون $K=0.83$ لحائط متوسط اللون، ثم نحسب متوسط درجة الحرارة الخارجية على أساس أن درجة الحرارة تتغير فى حدود $P_c = 14\ ^oC$ بين أقصى درجة حرارة فى النهار وأقل درجة حرارة فى الليل وأن نسبة التغير عند الساعة 14 هى $3\ \%$ من الجدول (٢-١) كالآتى:

$$T_o = T_m - \Delta T_m \times P_c = 40 - 0.03 \times 14 = 39.6 \quad ^\circ C$$

$$\Delta T = (CLTD + LM).K + (25.5 - T_R) + (T_o - 29.4)$$

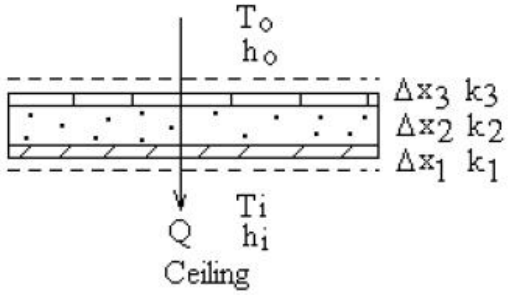
$$\Delta T_E = (13+0)\times 0.83 + (25.5-24) + (39.6-29.4) = 22.5 \quad ^\circ C$$

$$\Delta T_W = (8+0)\times 0.83 + (25.5-24) + (39.6-29.4) = 18.3 \quad ^\circ C$$

$$\Delta T_N = (5+0.5)\times 0.83 + (25.5-24) + (39.6-29.4) = 16.3 \quad ^\circ C$$

$$\Delta T_S = (7-2.1)\times 0.83 + (25.5-24) + (39.6-29.4) = 15.8 \quad ^\circ C$$

والسقف يتكون من خرسانة ثقيلة وطبقة بلاط أسطح ومن الداخل طبقة محار وطبقة جدارية من الهواء على السطح الداخلى والخارجى ولا يوجد سقف معلق:



$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \frac{\Delta x_3}{k_3} + \frac{1}{h_o} = \frac{1}{9} + \frac{0.02}{0.72} + \frac{0.15}{1.1} + \frac{0.05}{0.67} + \frac{1}{23} = 0.393 \quad m^2.k/W$$

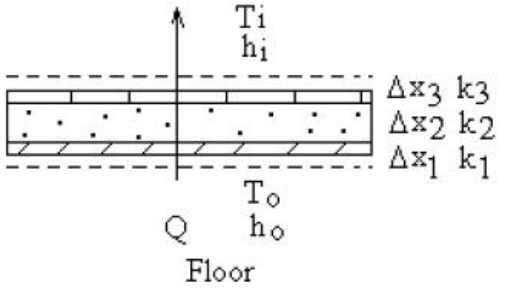
$$U = 2.542 \quad W/m^2.k$$

وهذا السقف يناظر مواد بناء ومعامل أنتقال الحرارة كلى تتفق مع مواصفات سقف النوعية C ورقم 9للمواصفات الأمريكية من الجداول المستخدمة، وعلى هذا يمكن استعمال القيم التالية فى حساب انتقال الحرارة خلال الأسقف مع اعتبارمعامل اللون للسقف $K=1$، وتصحيح فرق درجات الحرارة $LM=0$.

$$\Delta T_C = [(CLTD + LM).K + (25.5 - T_R) + (T_o - 29.4)] \times F$$

$$\Delta T_C = [(22+0)\times 1 + (25.5-24) + (39.6-29.4)] \times 1 = 33.7 \quad ^\circ C$$

ونفرض أن الأرضية تتكون مثل السقف ولكن معرضة من الخارج لهواء غير مكيف فإن:



$$\frac{1}{U}=\frac{1}{h_i}+\frac{\Delta x_1}{k_1}+\frac{\Delta x_2}{k_2}+\frac{\Delta x_3}{k_3}+\frac{1}{h_o}=\frac{1}{9}+\frac{0.02}{0.72}+\frac{0.15}{1.1}+\frac{0.05}{0.67}+\frac{1}{23}=0.393 \quad m^2.k/W$$

$$U=2.542 \quad W/m^2.k$$

$$\Delta T_F=(T_o-T_R)=(39.6-24)=15.6 \quad {}^\circ C$$

كمية الحرارة المنتقلة بالتوصيل من الجدران بعد طرح مساحات الأبواب والشبابيك والسقف والأرضية كما يلى:

$$Q_{East}=A\times U\times\Delta T_E=(20\times5-2\times1.2)\times1.767\times22.5=3880.33 \quad W$$
$$Q_{West}=A\times U\times\Delta T_W=(20\times5-2\times1.2)\times1.767\times18.3=3156.00 \quad W$$
$$Q_{North}=A\times U\times\Delta T_N=(22\times5-2\times1.2)\times1.767\times16.3=3099.11 \quad W$$
$$Q_{South}=A\times U\times\Delta T_S=(22\times5-2.5\times3)\times1.767\times15.8=2861.66 \quad W$$
$$Q_{Ceiling}=A\times U\times\Delta T_C=(20\times22)\times2.542\times33.7=37692.28 \quad W$$
$$Q_{Floor}=A\times U\times\Delta T_F=(20\times22)\times2.542\times15.6=17448.29 \quad W$$

ويأخذ فى الأعتبار الحرارة المنتقلة خلال سمك الباب المصنوع من الخشب ونعتبر فرق درجة الحرارة على جانبيه مثل الجدار المثبت به الباب تقريباً أو بدون معاملات تصحيح إذا كان غير معرض للإشعاع الشمسى،

$$\frac{1}{U}=\frac{1}{h_i}+\frac{\Delta x}{k}+\frac{1}{h_o}=\frac{1}{9}+\frac{0.05}{0.16}+\frac{1}{23}=0.467 \quad m^2.k/W$$

$$U=2.141 \quad W/m^2.k$$

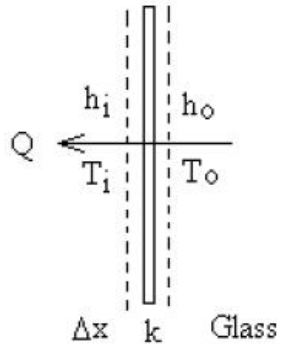
$$\Delta T_{Door}=\Delta T_S=15.8 \quad {}^\circ C$$

$$Q_{Door}=A\times U\times\Delta T_{Door}=(2.5\times3)\times2.141\times15.8=253.71 \quad W$$

$$Q_T=\sum(Q_{East}+Q_{West}+Q_{North}+Q_{South}+Q_{Ceiling}+Q_{Floor}+Q_{Door})$$
$$=\sum(3880.33+3156.00+3099.11+2861.66+37692.28+17448.29+253.71)$$
$$=68391.39 \quad W$$

أحمال التوصيل والأشعاع الشمسى خلال النوافذ : Q_W

نحسب معامل انتقال الحرارة الكلى من سمك الزجاج العادى المفرد 3 cm مع اعتبار وجود طبقة جدارية خارجية وداخلية وإطار خشبى وستائر داخلية من نسيج ثقيل متوسط اللون فيكون معامل التظليل Sc = 0.64، والغرفة بها أساس متوسط.



$$\frac{1}{U}=\frac{1}{h_i}+\frac{\Delta x}{k}+\frac{1}{h_o}=\frac{1}{9}+\frac{0.03}{1.4}+\frac{1}{23}=0.176 \qquad m^2.k/W$$

$$U=5.681 \qquad W/m^2.k$$

نفرض أن أطار الشباك من الخشب فنضرب معامل انتقال الحرارة الكلى فى معامل تصحيح 0.9 لإطار الخشب، ومعامل تصحيح 1.14 نظير سرعة هواء 12 km/hr :

$$U=5.681\times0.9\times1.14=5.829 \qquad W/m^2.k$$

$$\Delta T_W=CLTD+(25.5-T_R)+(T_o-29.4)$$

$$\Delta T_W=7+(25.5-24)+(39.6-29.4)=18.7 \qquad ^\circ C$$

$$\begin{aligned}Q_W &= A(U\times\Delta T+Sc\times SHFG_{\max}\times CLF)\\ &= Q_{EW}+Q_{NW}+Q_{WW}\\ &= 2\times1.2\times(5.829\times18.7+0.64\times678\times0.22)\\ &\quad +2\times1.2\times(5.829\times18.7+0.64\times204\times0.68)\\ &\quad +2\times1.2\times(5.829\times18.7+0.64\times678\times0.53)\\ Q_W &= 490.72+474.68+813.55=1778.95 \qquad W\end{aligned}$$

أحمال التسرب والتهوية: Q_{leak}

نفرض أن المبنى متوسط الإحكام وأن سرعة الرياح 12 km/hr أى حوالى 4 m/s فيكون معدل هواء التسرب هو،

$$N_A = a + bv + c(T_o - T_R)$$
$$N_A = 0.2 + 0.015 \times 4 + 0.014 \times (39.6 - 24) = 0.468 \quad Once/hr$$

$$\dot{m}_{\inf} = N_A \times V \times \rho$$
$$\dot{m}_{\inf} = \frac{0.468}{3600} \times 20 \times 22 \times 5 \times 1.18 = 0.338 \quad kg/s$$

أما معدل هواء التنفس نفرض أنه يوجد 5 أشخاص من 30 شخص غير مدخن، والشخص الغير مدخن يحتاج 2.5 Lit/s والشخص المدخن يحتاج 17.5 Lit/s ،

$$\dot{m}_V = N_P \times \dot{V} \times \rho = (5 \times 10 + 25 \times 2.5) \times 10^{-3} \times 1.18 = 0.133 \quad kg/s$$

فيكون الحمل الحرارى المحسوس Q_s والكامن Q_l نتيجة هواء التسرب والتهوية هو:

$$Q_{Sleak} = (\dot{m}_{\inf} + \dot{m}_V) \times C_P \times (T_o - T_i) = (0.338 + 0.133) \times 1005 \times (39.6 - 24)$$
$$Q_{Sleak} = 7384.34 \quad W$$
$$Q_{Lleak} = (\dot{m}_{\inf} + \dot{m}_V) \times (\omega_o - \omega_i) \times h_{fg} = (0.338 + 0.133) \times (22.5 - 9.5) \times 10^{-3} \times 2454 \times 10^3$$
$$Q_{Lleak} = 15025.84 \quad W$$
$$Q_{Leak} = Q_{Sleak} + Q_{Lleak} = 7384.34 + 15025.84 = 22410.18 \quad W$$

أحمال الأضاءة : Q_{light}

حمل الأضاءة للمبات مثبتة تحت السقف وتهوية ضعيفة، يكون معامل a=0.45 وأرضية الغرفة من البلاط فيكون التصنيف C ومدة إضاءة كلية 10 hr فيكون CLF=0.76 ،

$$Q_{Light} = F_u \times F_b \times CLF \times LR = 1 \times 1.2 \times 0.76 \times 15 \times (20 \times 22) = 6019.2 \quad W$$

أحمال الأجهزة الكهربية: Q_{Ap}

$$Q_{App} = \sum Power = 3000 \quad W$$

أحمال الأشخاص: Q_P

على اعتبار أن الزمن الكلى 10 hr وأن الشخص يمكث 4 hr فى المكان قبل أن يتحرك،

$$Q_{SP} = N_P \times CLF \times H_S = 30 \times 0.89 \times 80 = 2136 \quad W$$
$$Q_{LP} = N_P \times H_L = 30 \times 40 = 1200 \quad W$$
$$Q_P = Q_{SP} + Q_{LP} = 2136 + 1200 = 3336 \quad W$$

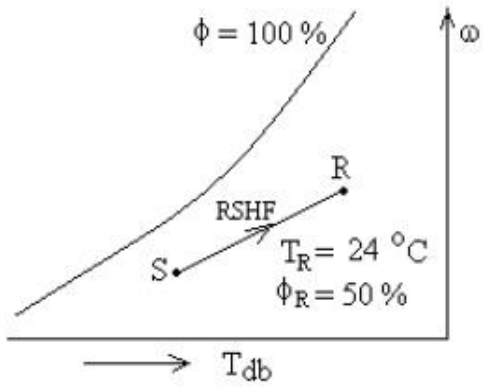
معامل الحرارة المحسوسة للغرفة والحمل الكلى يكون:

$$Q_S = Q_T + Q_W + Q_{Sleak} + Q_{Light} + Q_{App} + Q_{SP}$$
$$Q_S = 68391.39 + 1779.95 + 7384.34 + 6019.2 + 3000 + 2136 = 88710.88 \quad W$$
$$Q_L = Q_{Lleak} + Q_{LP}$$
$$Q_L = 15025.84 + 1200 = 16225.84 \quad W$$
$$Q_{Total} = Q_S + Q_L = 88710.88 + 16225.84 = 104936.72 \quad W$$
$$RSHF = \frac{Q_S}{Q_{Total}} = \frac{88710.88}{104936.72} = 0.8454 \approx 85\,\%$$

وبأخذ معامل أمان 5 % للأحمال المهملة والتسرب خلال مجارى الهواء فيكون الحمل الكلى لتصميم دورة تكييف الهواء هو:

$$Q_{Total} = 1.05 \times 104936.72 = 110183.56 \quad W = 110.2 \quad kW$$

وحيث أن معامل الحمل المحسوس للغرفة حوالى 85 % فيكون تمثيل إجراء الغرفة من النقطة S وهى حالة هواء التغذية الخارج من وحدة مناولة الهواء إلى النقطة R وهى ظروف الغرفة المكيفة كما **بالشكل التالى** وتكون درجة حرارة نقطة S أقل من درجة حرارة الغرفة.



معامل الحرارة المحسوسة للغرفة $RSHF$ صيفاً.

مثال (٢)

فى المثال السابق أحسب حمل التدفئة لنفس ظروف الغرفة ومحتوياتها ولكن أدنى أنخفاض فى درجة الحرارة يكون فى الليل لظروف خارجية $T_o=5\ ^oC$ ورطوبة نسبية $\phi_o=60\ \%$.

الحل

عندما نقوم بعمل حسابات أحمال التدفئة فى فصل الشتاء فيجب أن نعلم أن أدنى إنخفاض فى درجة الحرارة يحدث فى الليل، ولذلك نحسب حمل التوصيل خلال الحوائط والأسقف والأرضيات بين فرق درجة حرارة الغرفة والوسط الخارجى مع أهمال معاملات التصحيح لتعويض الكسب الشمسى وأيضاً إهمال الكسب الشمسى لأنه يحدث فى النهار وهو يعتبر حمل مضاف للأحمال الداخلية ولذلك هو يخفف من الأحمال على جهاز التكييف فى فترة سطوع الشمس، ويجب الأنتباه إلى أن أحمال التوصيل والتسرب والتهوية وهما مجموع الأحمال الخارجية تكون فقد حرارى من الغرفة إلى الخارج، اما باقى الأحمال الحرارية فهى كسب حرارى للغرفة ولذلك فإن حمل التدفئة يكون الفرق بين الأحمال الخارجية والأحمال الداخلية.

أحمال التوصيل خلال الجدران والسقف والأرضية : Q_T

$$Q_{Walls} = A\times U\times(T_R - T_o)$$
$$= ((20+22)\times 2\times 5)\times 1.767\times(24-5) = 14100.66 \quad W$$
$$Q_{Ceiling} = (20\times 22)\times 2.542\times(24-5) = 21251.12 \quad W$$
$$Q_{Floor} = (20\times 22)\times 2.542\times(24-5) = 21251.12 \quad W$$

ونظراً لأنه فى فصل الشتاء تكون الأبواب والنوافذ مغلقة فى الليل وكذلك الستائر فنحن أهملنا التوصيل خلال مادة النوافذ والأبواب لأن الفارق يكون قليل بينها وبين مواد البناء إلا فى حالة وجود حوائط كاملة من الزجاج فيجب أخذ ذلك فى الأعتبار لعظم التبادل الحرارى خلالها.

$$Q_T = 14100.66 + 21251.12 + 21251.12 = 56603.08 \quad W$$

أحمال التسرب والتهوية: Q_V

نفرض أن المبنى متوسط الإحكام وأن سرعة الرياح 12 km/hr أى حوالى 4 m/s فيكون معدل هواء التسرب هو،

$$N_A = a + b\mathrm{v} + c(T_R - T_o)$$
$$N_A = 0.2 + 0.015\times 4 + 0.014\times(24-5) = 0.526 \quad Once/hr$$
$$\dot{m}_{\inf} = N_A\times V\times\rho$$
$$\dot{m}_{\inf} = \frac{0.526}{3600}\times 20\times 22\times 5\times 1.18 = 0.379 \quad kg/s$$

أما معدل هواء التنفس نفرض أنه يوجد 5 أشخاص من 30 شخص غير مدخن، والشخص الغير مدخن يحتاج 2.5 Lit/s والشخص المدخن يحتاج 17.5 Lit/s ،

$$\dot{m}_V = N_P \times \dot{V} \times \rho = (5\times 10 + 25\times 2.5)\times 10^{-3}\times 1.18 = 0.133 \quad kg/s$$

فيكون الحمل الحرارى المحسوس Q_s والكامن Q_l نتيجة هواء التسرب والتهوية هو :

$$Q_{Sleak} = (\dot{m}_{\inf} + \dot{m}_V)\times C_P \times (T_R - T_o) = (0.379 + 0.133)\times 1005\times (24-5)$$
$$Q_{Sleak} = 9776.64 \quad W$$
$$Q_{Lleak} = (\dot{m}_{\inf} + \dot{m}_V)\times (\omega_R - \omega_o)\times h_{fg} = (0.379 + 0.133)\times (9.5-3.5)\times 10^{-3}\times 2454\times 10^3$$
$$Q_{Lleak} = 7538.69 \quad W$$
$$Q_{Leak} = Q_{Sleak} + Q_{Lleak} = 9776.64 + 7538.69 = 17315.33 \quad W$$

الأحمال الداخلية كماهى ويكون الحمل الحرارى الكلى كمايلى:

معامل الحرارة المحسوسة للغرفة والحمل الكلى يكون:

$$Q_S = Q_T + Q_{Sleak} + Q_{Light} + Q_{AP} + Q_{PS}$$
$$Q_S = -56803.08 - 9776.64 + 6019.2 + 3000 + 2136 = -55424.52 \quad W$$
$$Q_L = Q_{Lleak} + Q_{PL}$$
$$Q_L = -7538.69 + 1200 = -6338.69 \quad W$$
$$Q_{Total} = Q_S + Q_L = 55424.52 + 6338.69 = 61763.21 \quad W$$
$$RSHF = \frac{Q_S}{Q_{Total}} = \frac{55424.52}{61763.21} = 0.8974 \approx 90\,\%$$

وحيث أن اشارة الحمل المحسوس تتفق مع اشارة الحمل الكامن وكلاهما فقد حرارى، فإن النقطة S ظروف هواء التغذية تكون أعلى من نقطة R ظروف الراحة الحرارية للغرفة، فتكون نقطة S أعلى يميناً من نقطة R واتجاه إجراء الغرفة هو الخط $S \rightarrow R$ ويكون موازياً لمعامل الحرارة المحسوسة للغرفة $RSHF$. وبأخذ معامل أمان 5 % للأحمال المهملة والتسرب خلال مجارى الهواء فيكون الحمل الكلى لتصميم دورة تكييف الهواء هو :

$$Q_{Total} = 1.05\times 61763.21 = 64851.37 \quad W = 64.85 \quad kW$$

أسئلة عامة

١- عرف معامل الحمل المحسوس للغرفة، ومثله بالنسبة لظروف للغرفة على خريطة الهواء الرطب صيفاً وشتاءً.

٢- أحسب حمل التبريد لمطعم مستطيل الشكل 15×35×5 m، الجدار الشرقى 35 m ثلثه من الزجاج بسمك 6 mm وستائر من نسيج ثقيل غامق اللون والباب فى الشمال 2×3 m ونافذتين 2×1.5 m فى الناحية الشرقية ويوجد سقف معلق وتقع فى أسوان عند خط عرض 24 شمالاً يوم 21 أغسطس الساعة 15 بتوقيت شمسي إذا كانت درجة حرارة الغرفة 24 °C ورطوبة نسبية 50 % ودرجة حرارة الجوى الخارجي 43 °C ورطوبة نسبية 40 % والسقف من الخرسانة بسمك 15 cm والحوائط من الطوب المفرغ بسمك 20 cm وتشطيب بالمحار من الداخل والخارج بسمك 3 cm وشدة الإضاءة 15 W/m^2 من مساحة الأرضية والمصابيح فلوروسنت وأساس عادى وساعات العمل يوم كامل والأرضية من الخرسانة بسمك 10 cm مغطاة بالبلاط بسمك 5 cm والمطعم يستوعب 40 شخص والحمل الكهربي للأجهزة 8 kW وحمل معدات الطبخ والوجبات 3400 W حمل محسوس، 4600 W حمل كامن، ومعامل انتقال الحرارة بالحمل على السطح الداخلي $h_i = 9\ W/m^2.K$ والسطح الخارجي $h_o = 23\ W/m^2.K$ ومعامل التوصيل الحراري لمواد البناء كالأتي:

المادة	معامل التوصيل K (W/m·k)	المادة	معامل التوصيل K (W/m·k)
طوب أحمر	0.85	بلاط	0.67
طوب مفرغ	0.61	خشب	0.16
خرسانة	1.1	زجاج	1.4
محارة	0.72	عازل حراري	0.039

أستخدم هذه المعطيات من جداول ASHRAE لحساب كمية الحرارة المنتقلة للغرفة من الأسطح والنوافذ الزجاجية:

خط عرض 24 شمالاً	شرق	غرب	شمال	جنوب	سقف	زجاج	للإضاءة	للأشخاص
B للجدران CLTD °C	13	8	5	8	27	8		
LM	-0.5	-0.5	-1.1	-1.6	0	0		

			1	0.83				K
			0.75					F
			874	227	120	694	694	$SHGF_{max}$ (W/m^2)
								الكسب الشمسى من الزجاج
		0.59						Sc
0.97	0.94			زجاج نوافذ وأبواب				CLF
				0.50	0.82	0.72	0.20	
		0.9	أطار الشباك					معامل تصحيح U للزجاج
		1.17	سرعة الرياح					

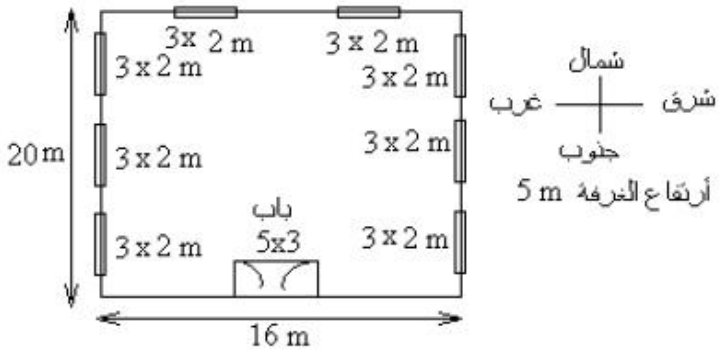
والباب من الزجاج بسمك 3 cm، والشخص يعطى حرارة محسوسة تعادل 95 W وحرارة كامنة 105 W ، حمل التسرب 0.25 من حجم المطعم كل ساعة والتهوية للشخص 4 lit/min وكثافة الهواء $1.15\ kg/m^3$ والحرارة النوعية للهواء 1005 J/kg والحرارة الكامنة للتبخير L.T = 2454 $.10^3\ J/kg$

٣- أحسب حمل التبريد لمدرج دراسى كما بالشكل الموضح ويقع فى مدينة شبين الكوم عند خط عرض 30 شمالاً يوم 21 يونيو الساعة 13 بتوقيت شمسي إذا كانت درجة الحرارة الداخلية للمدرج 24 °C ورطوبة نسبية 50 % ودرجة حرارة الجوى الخارجي 37 °C ورطوبة نسبية 55 % والسقف من الخرسانة بسمك 15 cm وبه سقف معلق به مجارى ومخارج هواء التكييف والحوائط من الطوب المفرغ بسمك 20 cm وعازل حرارى فى الجدران والسقف بسمك 10 cm وتشطيب بالمحار من الداخل والخارج بسمك 3 cm وشدة الإضاءة $20\ W/m^2$ من مساحة الأرضية والمصابيح فلورسنت وأساس عادى من الخشب وساعات العمل من 9 حتى 16 مساءً والأرضية من الخرسانة بسمك 10 cm مغطاة بالبلاط بسمك 5 cm والمدرج يستوعب 250 طالب وحاسب آلي ومكبر صوت ونظام عرض ضوئى والحمل الكهربي للأجهزة الأخرى 2 kW، والنوافذ من الزجاج العادى بإطار ألوميتال وبدون ستائر ومعامل انتقال الحرارة بالحمل على السطح الداخلي $h_i = 8$ $W/m^2.K$ والسطح الخارجي $h_o = 19\ W/m^2.K$ ومعامل التوصيل الحراري لمواد البناء كما فى المسئلة السابقة.

أستخدم هذه المعطيات من جداول ASHRAE لحساب كمية الحرارة المنتقلة للغرفة من الأسطح والنوافذ الزجاجية:

خط عرض 30 شمالاً	شرق	غرب	شمال	جنوب	سقف	زجاج	للإضاءة	للأشخاص
CLTD °C للجدران C	17	6	5	7	14	7		
LM	0	0	0.78	-2.6	0	0		
K	0.83				1			
F					0.75			
$SHGF_{max}$ (W/m^2)	673	673	150	172	875			
الكسب الشمسى من الزجاج								
Sc						0.86		
CLF	زجاج نوافذ وأبواب						0.81	0.71
	0.37	0.2	0.80	0.65				
معامل تصحيح U للزجاج	أطار الشباك					1		
	سرعة الرياح					1.14		

كثافة الهواء $1.2\ kg/m^3$ والحرارة النوعية للهواء $1005\ J/kg$ والحرارة الكامنة للتبخير L.T = $2454\ 10^3\ J/kg$.



٤- للمدرج الدراسى السابق، أحسب حمل التدفئة لنفس ظروف المدرج ولكن أدنى أنخفاض فى درجة الحرارة يكون فى الليل لظروف خارجية $T_o=10\ ^oC$ ورطوبة نسبية $\phi_o=60\ \%$.

الباب الثامن : أساسيات الصيانة ومحاكاة أعطال وحدات التبريد

The Basics of Maintenance and Faults Simulation for refrigeration units

٨- أساسيات الصيانة ومحاكاة أعطال وحدات التبريد بإستخدام برامج الكمبيوتر
Maintenance and Refrigeration troubleshooting Simulation

الصيـــانـــة:

مفاهيم عامة للصيانة: Maintenance concepts

الصيانة (لغة) :- المحافظة على الشيء

الصيانة (علم): كل الأعمال الإدارية والهندسية الضرورية للمحافظة على الأصل فى حالة جيدة وسليمة تتيح الإستفادة من الوظيفة المصمم لها بكفاءة .

تعريف الصيانة:

الصيانة عموما هى عبارة عن مجموعة الإجراءات وسلسلة العمليات المستمرة التى يجب القيام بها بهدف وضع الآلة أو المنشاة فى وضع الاستعداد التام للعمل .

والصيانة عملية مستمرة حتى فى حالة وقوف العملية الإنتاجية للآلة أو المنشاة حيث تتعرض أجزاء الآلات والمعدات وأجهزة الإنتاج للأعطال مثل التآكل والتلف والصدأ خلال فترة عمرها التشغيلى.

مجال الصيانة :

الأصول الثابتة : (طرق - مبانى - مرافق - معدات - أجهزة - متعلقات إخرى).

عناصر الصيانة :

- الأفراد : الذين يكونوا الهيكل التنظيمى لعمليات الصيانة (مهندسين - مشرفين - فنيين - عمال) .
- الأدوات : الأجهزة والعدد المستعملة فى الصيانة .
- مواد الصيانة المستهلكة وقطع الغيار الاستبدالية : (منظفات - مزلقات - كراسى تحميل - مصهرات).
- المعلومات:(الكتيبات - الكتالوجات - الرسومات - التعليمات - اللوحات - الملفات - التقارير - الدراسات - الإحصائيات - التكاليف – المعدلات- إخرى) .

واجبات الصيانة :

تختلف واجبات الصيانة من منشأة إلى أخرى وتتأثر الواجبات بحجم ونوع المنشأة وبسياسة الإدارة ومدى إتساع الأنشطة وإختلاف الأولويات .

ويمكن تصنيف واجبات الصيانة إلى مجموعتين هما :

أ. الواجبـــات الأساسية : وهى التى تحتاج إلى عمل مستمر من الصيانة .

ب. الواجبات الثانوية (المساعدة): وهى التى يعهد بها للصيانة بسبب الصلاحية - المعرفة - التماثل .

أ. الواجبات الأساسية :

١. صيانة الأراضى والمبانى :

- إصلاح الطرق - الممرات - المجارى الأساسات - الأعمدة (مدنى).
- إصلاح البياض والأسقف والزجاج (معمارى) .
- إصلاح الصحى والسباكة والكهرباء.

٢. صيانة المعدات والملحقات للمنشآت - المصانع :

المعدات الميكانيكية والكهربائية والإلكترونية الأساسية والملحقة .

٣. صيانة المـــرافق : المياه - البخار - الكهرباء - الهواء المضغوط - الصرف .

٤. تعديلات المبانى والمعدات : وإقامة المنشآت الإضافية المستجدة .

٥. مواصفات وتعاقدات أعمال الصيانة الخارجية : الإشراف والاستلام .

ب. الواجبات الثانوية (المساعدة) :

- التخزيــن : مخازن مواد الصيانة وقطع الغيار .
- وقاية المنشاة : الحراسة والمطافئ .
- تصريف النفايات الناتجة عن الصيانة .
- الإستخلاص (الإسترجاع) الإنقاذ Salvage (لإعادة الاستعمال كليا أو جزئيا أو تصنيع أو التخريد والبيع) .
- التامين وإختبارات الضغط وتنفيذ توصيات التأمين .
- الأمان الصناعى والسلامة .
- خفض التلوث .
- خدمات أخرى .

عادة ما يبدو قسم الصيانة كمنقذ لمعظم الأنشطة الأخرى التى لا يرغب قسم أخر فى تناولها .
ومهما كانت المسئوليات الملقاة على قسم الصيانة فإنه من الضرورى إرساء حدود الصلاحية والمسئولية والاتفاق عليها مع كل المهتمين ووضعها كتابة مع المديرين لاعتمادها كوثيقة رسمية للأداء وأعلام جميع العاملين بها .

أنواع الصيانة MAINTENANCE TYPES

يمكن تقسيم عمليات الصيانة عموما إلى :

١- الصيانة غير المخططة:

هى عمليات الصيانة التى لم يتم التخطيط لها أو توقعها، مما قد يلزم إعداد موارد غير معروفة قبل وقت حدوثها بتكاليف غير محددة.

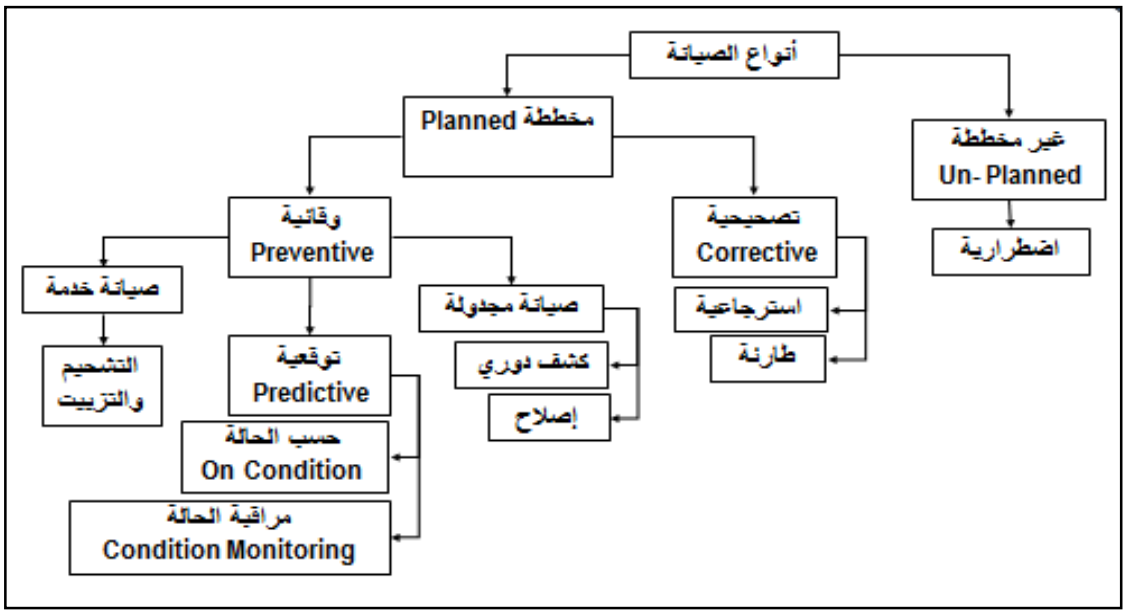
٢- الصيانة المخططة:

هى عمليات الصيانة المتوقع حدوثها ومعد لها الموارد والخطط التنفيذية اللازمة والميزانيات المتوقعة لها .

ويتم التخطيط وإعداد برنامج الصيانة المخططة من خلال ما يلى :

- تحديد ماذا تريد أن تصون - إقرار كيفية القيام بالصيانة (جدولة أعمال الصيانة).
- تجهيز مواصفات أعمال الصيانة - تحديد برنامج الصيانة .
- تحديد برنامج مخطط أسبوعى للصيانة - مراقبة البرنامج عن طريق بلاغات الأعطال وتقارير الإختبارات .
- الإحتفاظ بجميع نتائج أعمال الصيانة فى السجلات الخاصة بها.

والمخطط التالى يوضح أنواع الصيانة:



وعليه تشمل الصيانة المخططة نوعان أساسيان هما :

١- الصيانة التصحيحية Corrective Maintenance :

تمثل عمليات صيانة العطل أو التوقف ويتم فيها عملية إصلاح كامل (إسترجاع) أو إصلاحات طارئة لإعادة المعدة إلى العمل مرة أخرى .

٢- الصيانة الوقائية Preventive Maintenance:

تمثل عمليات الصيانة المبنية وفق برنامج محدد وبشكل منتظم ثابت أو متغير الوقت ويعمل على تلافى التوقف أو التعطل لتعمل المعدة بصورة منتظمة وفقا للبرنامج.

وتعرف الصيانة الوقائية طبقاً للمواصفات الدولية عام ١٩٨٤م على أنها: "الصيانة التي تعمل فى أوقات مرحلية مسبقة التحديد أو نتيجة معايير محددة هدفها تقليل إحتمالية التعطل أو تقليل هبوط الأداء للمعدات"

وتشمل الصيانة الوقائية الطرق التالية :

أ- صيانة مجدولة Scheduled maintenance:

تتم الصيانة في أوقات وفترات ثابتة ومحددة مسبقاً للقيام بالإصلاح والضبط والتبديل أو الصيانة الكشفية Detective maintenance والتى هى إجراء الكشف الدورى على المعدات والأجهزة للتأكد من جاهزيتها لتأدية وظيفتها.

ب- صيانة خدمة Service Maintenance:

تمثل هذه عملية خدمة المعدات بصورة مستمرة فى أوقات وفترات ثابتة ومحددة مسبقاً ودون توقف عمل هذه المعدات .

ج- الصيانة التوقعية Predictive Maintenance :

و هى صيانة حسب الحالة (Condition Based Maintenance) CBM)

وتسمى إستشعار حالة المعدة، حيث يتم ترك المعدات تعمل وتقاس خلالها خواص تدل على ظواهر متعلقه بحالة المعدة التى يتم بناءا عليها التوقع بقرب التعطل وعليه تجرى إجراءات جدولة وتنفيذ أعمال الصيانة المناسبة.

وتعتبر صيانة حسب الحالة حلا وسطا بين الصيانة التصحيحية والصيانة الوقائية المجدولة، بمعنى آخر فإن الصيانة حسب الحالة هى ألا تترك المعدة تعمل حتى التعطل ولا تقوم بأعمال وقائية غير ضرورية.

وتعرف الصيانة حسب الحالة وفقاً للمواصفات الدولية عام ١٩٨٤م على أنها:

"هى الصيانة الوقائية المنفذة و ذلك نتيجة للعلم بحالة المعدة من المراقبة المستمرة أو المتكررة"

وهى أحد أساليب إدارة الصيانة الحديثة والتى بدأ تطبيقها فى الدول الصناعية المتقدمة فى نهايات السبعينات وبدايات الثمانينات من القرن العشرين، وتعتبر تطورا لأساليب الصيانة التقليدية مثل الصيانة الوقائية.

وتشمل طريقتان هما:

١- على الحالة (On-Condition) : بمعنى أن تتم الصيانة عند حاجة المعدة لها ويمكن تحديد ذلك عن طريق إجراء اختبارات بسيطة أو بالخبرة المكتسبة.

٢- مراقبة الحالة : (Condition monitoring) : يتم تحديد أوقات الصيانة حسب نتائج المراقبة المستمرة للمعدة وذلك باستخدام أجهزة قياس متطورة.

الصيانة التنبؤية: Predictive Maintenance

هي أحد أساليب إدارة الصيانة الحديثة والتى بدأ تطبيقها فى الدول الصناعية المتقدمة فى نهايات السبعينات وبدايات الثمانينات من القرن العشرين، وتعتبر تطورا لأساليب الصيانة التقليدية مثل الصيانة الوقائية.

تعتمد الصيانة التنبؤية على مبدأ "مراقبة الحالة" Condition Monitoring للماكينة أو المعدة من أجل التنبؤ بالأنهيار أو العطل قبل حدوثه، ويتم ذلك بإستخدام عدة تقنيات حديثة من أهمها:

- الفحص البصرى Visual Inspection
- قياس الإهتزازات الميكانيكية وتحليلها (وهى أهم تقنيات الصيانة التنبؤية) Vibration Measurements Analysis
- تحليل الزيوت Oil Analysis

- الإختباربالموجات فوق الصوتية Ultrasonic Testing
- الأشعة تحت الحمراء Infrared Thermograph

مميزات إستخدام الصيانة التنبؤية

- يحقق إستخدام تقنيات الصيانة التنبؤية عدة مزايا للمنشأة الصناعية من أهمها:
- زيادة العمر الإفتراضى للماكينة.
- تقليل وقت توقفات الإنتاج .
- خفض النفقات المصروفة على العمالة وقطع الغيار.
- تحسين جودة المنتج بصفة عامة.
- تحسين بيئة العمل والأمان الصناعى.
- توفير الطاقة .
- تخفيض النفقات بنسبة تتراوح ما بين ٨ إلى ١٢ % مقارنة باستخدام الصيانة الوقائية.

الصيانة الذاتية Autonomous Maintenance

وهى أحد عناصر الصيانة الإنتاجية الشاملة، وتعنى قيام المشغلين ببعض أعمال الصيانة البسيطة للمعدات.

فوائد الصيانة الذاتية

أ- يتولد لدى المشغل إحساس بالمسئولية تجاه الحفاظ على المعدة فى حالة جيدة وهذا يختلف عن الأنظمة التقليدية التى تجعل القائمين بالصيانة هم وحدهم المسئولين عن توقف المعدة أو عن حدوث أى خلل.
ب- سرعة التدخل عن طريق المشغلين لحل المشاكل البسيطة قبل تفاقمها.
ت- سرعة تدخل الصيانة لحل المشاكل، نتيجة لقيام المشغل ببعض أعمال الصيانة البسيطة فإنه يكتشف العديد من العيوب وبالتالى يقوم بإبلاغ الصيانة التى تتدخل لحلها.
ث- توفير وقت القائمين بالصيانة للأعمال التى تحتاج مهارات خاصة.
ج- إلمام المشغل ببعض مبادئ الصيانة تساعده على إكتشاف الأعطال مبكرا والقدرة على حل بعضها والمشاركة فى حل البعض الآخر، وعلاوة على ذلك فإن المشغل يكون على دراية بتأثير أسلوب التشغيل على المعدة وكيفية المحافظة عليها.
د- إرتفاع الحالة المعنوية للعاملين نتيجة لتحسين بيئة العمل وذلك بمشاركتهم بأفكارهم ومقترحاتهم فى حل مشاكل العمل وتطويره.

تطبيق الصيانة الذاتية

الصيانة الذاتية يتم تطبيقها كجزء من برنامج الصيانة الإنتاجية الشاملة TPM والتى يفضل عدم تطبيقها على كل المعدات والمواقع مرة واحدة وإنما يتم اختيار موقع أو معدة لتكون نموذج لتطبيق الصيانة الإنتاجية الشاملة.
وهذا الأسلوب يجعل العاملين يرون فوائد تطبيق الصيانة الذاتية على هذا الموقع وبالتالى يكونون أكثر اقتناعا بها، كذلك يسبق تطبيق الصيانة الذاتية تدريب المشغلين على مهارات الصيانة الأساسية من تزييت وتشحيم وربط وإعادة ربط وفحص ويتزامن هذا أيضا مع تدريب كل العاملين على مبادئ الصيانة الإنتاجية الشاملة وتشجيع التعاون بين الأقسام والإدارات المختلفة خاصة التشغيل والصيانة.

ما هى الأعمال التى يقوم بها المشغل ؟

١- نظافة المعدات Cleaning:

المقصود بنظافة المعدة فى الصيانة الإنتاجية الشاملة أن يقوم المشغل بنفسه بهذه النظافة يوميا وهذه النظافة تؤدى إلى بقاء المعدة نظيفة مما يساعد على إكتشاف العيوب مثل وجود تسريب أو شرخ أو خلافه.
تصور أنك مسئول عن معدتين متماثلتين إحداهما نظيفة جدا والأخرى مغطاة بالأتربة وبآثار الشحم وآثار تسريب الزيت وافترض أنه حدث شرخ متماثل في المعدتين فى آن واحد فهل ستكتشف المشكلة فى المعدتين في نفس الوقت بالطبع لا، فإنه يمكنك ملاحظة الشرخ في المعدة النظيفة بمجرد النظر، أما المعدة الأخرى فربما اكتشفت هذا الشرخ فيها بعد أن يؤدى إلى ظواهر أخرى مثل زيادة الاهتزاز أو كسر فى جزء آخر أو زيادة الشرخ.
هذه النظافة اليومية تساعد المشغل على إكتشاف العيوب أثناء التنظيف لأن المشغل سيقوم بلمس أجزاء المعدة ويكون قريبا منها جدا بشكل يمكنه من إكتشاف الكثير من الأشياء التى لا يكتشفها عند المرور بجوار المعدة وبالتالى فإن هذه النظافة هى عبارة عن فحص يومى للمعدة.

٢- الربط (إعادة الربط) Bolting:

الربط الجيد لوسائل التثبيت من مسامير وصواميل هى أحد الأشياء التى تقلل كثيرا من أعطال المعدات، فوجود مسمار غير مربوط بشكل جيد يؤدى إلى حدوث مشاكل أخرى، فمثلا قد يؤدى وجود مسمار يحتاج إعادة ربط إلى تسريب زيت أو شحم والذى سيؤدى فى النهاية إلى انهيار كراسى المحامل وبالتالى يحدث عطل كبير من حيث زمن وتكلفة الإصلاح، كذلك قد يؤدى وجود صامولة غير مربوطة جيدا إلى حدوث عدم إستقامة بين الآلة والمحرك الكهربائى مما يؤدى إلى زيادة الإهتزازات وتآكل القارنة التى تنقل حركة المحرك إلى الآلة.
لذلك فإن إعادة ربط أى شىءغير مربوط جيداً يجب أن يتم بسرعة حتى نتلافى مشاكل أكبر، والصيانة الإنتاجية الشاملة تلقى بهذه المسئولية على المشغل لأنه يستطيع أن يقوم بهذا العمل بسرعة بدلا من إضاعة الوقت فى الاتصال بقسم الصيانة وانتظار حضور أحد فنيي الصيانة وما إلى ذلك.

٣- التزييت والتشحيم Lubrication :

لا يخفى علينا مدى أهمية وجود زيت أو شحم بالكمية والنوعية والجودة المناسبة للمعدة فإنخفاض مستوى الزيت يؤدى بشكل مباشر إلى انهيار فى كراسى المحامل وربما الأجزاء الدوارة، كما هو الحال فى عمليات إعادة الربط فإن تدخل المشغل السريع لزيادة الزيت أو الشحم يحمى المعدات من مشاكل عديدة.
وفى الأنظمة التقليدية يكتفى المشغل بإبلاغ قسم الصيانة بالحاجة لتزويد الزيت وتنتهى مسئوليته عند هذا الحد، أما فى الصيانة الإنتاجية الشاملة فالمشغل يقوم بتزويد الزيت ومتابعة المعدة وتحليل سبب تناقص مستواه.

٤- الفحص الذاتى للمعدات:
عادة ما يقوم المشغل بتشغيل المعدات ومتابعة قراءات بعض الأجهزة مثل أجهزة قياس شدة التيار وأجهزة قياس الضغط، ولكن الصيانة الإنتاجية الشاملة تطلب من المشغل القيام بفحص يومى على المعدة والتأكد من سلامة الأجزاء وعدم وجود أى تسريب أو أى شيئ يحتاج إعادة ربط وعدم وجود إرتفاع فى درجات الحرارة وعدم وجود إنسداد فى مواسير الصرف (إن وجدت).
وهذا الفحص يجب ألا يكون مجرد عملية نظرية لا تؤخذ بجدية وكذلك الحال فى جميع أنشطة الصيانة الإنتاجية الشاملة، بالإضافة للفحص اليومى فإن المشغل قد يقوم ببعض عمليات الفحص الدورية كل شهر أو شهرين أو أكثر للتأكد من عمل الصمامات بكفاءة وبعض أجهزة التحكم، لا حظ أن المشغل لا يقوم بعمليات الفحص التى تحتاج لفك المعدة إلى أجزاء وإنما يقوم بعمليات فحص خارجى.

٥- ترتيب ونظافة موقع العمل Housekeeping:
علاوة على نظافة المعدات فإن الصيانة الإنتاجية الشاملة تعنى بنظافة وترتيب موقع العمل بحيث يكون آمنا ونظيفا. لذلك فإن المشغلين يقع عليهم عبء المحافظة على المواقع التى يعملون بها مرتبة ونظيفة وآمنة، لذلك ينبغى عدم وضع الأشياء فى أماكن عشوائية ، فكثيرا ما توجد قطع غيار جديدة ومستعملة أو منتجات نصف مصنعة أو أدوات أو ملفات ملقاة بشكل غير مرتب فى موقع العمل مما ينتج عنه صعوبة الحركة وقد يتسبب ذلك فى حوادث، وإستهلاك وقت فى البحث عن قطع الغيار أو أدوات الصيانة المناسبة، وإستهلاك جزء من مساحة الموقع لتخزين أشياء بالية لا فائدة منها، وقد نجد متعلقات شخصية أو بقايا مواسير أو أسلاك كهربية فى منطقة المعدات.

٦- التحسين والتطوير المستمر:
كجزء من أنشطة الصيانة الذاتية، يقوم المشغلون بإستمرار بتحسين أداء المعدة وتقليل الوقت اللازم لعمليات التنظيف ومنع مصادر التلوث، فمثلا يقوم المشغلون بتحليل أسباب تراكم الأتربة والزيوت و أى مواد أخرى على المعدات وحولها وعلى أرضية الموقع، ثم يقومون بإزالة هذه الأسباب.
فمثلا قد نجد ان الزيت يتراكم على المعدة نتيجة وجود تسريب، فنقوم بعلاج التسريب.
قد نحتاج لتنظيف المجارى التى يتساقط فيها سوائل التبريد اللازمة لعمل معدة ما مثل الطلمبات (المضخات) أو أجهزة التكييف.
كذلك يقوم المشغلون بتحليل المشكلات التى يكتشفونها فى المعدة وإقتراح طرق حل هذه المشكلات والتى قد تشمل تطوير بعض أجزاء المعدة.

٧- إعداد طرق التنظيف والتزييت والفحص القياسية:
لضمان قيام جميع المشغلين بعمليات النظافة والفحص بنفس الأسلوب فإنه يتم وضع خطوات قياسية لكل من هذه العمليات، هذه الخطوات القياسية يضعها المشغلون بأنفسهم حتى تكون ملائمة لطبيعة العمل وحتى يكونون مقتنعين بأهمية إتباعها.

تعليمات الخدمة والصيانة للتكييف المركزى

تشغيل وإيقاف محطة التكييف المركزى

١ - تشغيل محطة التكييف المركزى

- عمل دورة على جميع المعدات والتأكد من عدم وجدود تسريب أو أى وصلات مفكوكة أو صوت غير طبيعى أو أى شئ غير طبيعى .
- بدء تشغيل طلمبات المياه المثلجة الإبتدائية ومتابعة شدة التيار وفرق الجهد والتأكد من إن القراءات فى المستوى المحدد .
- بدء تشغيل طلمبات المياه المثلجة الثانوية ومتابعة شدة التيار وفرق الجهد والتأكد من أن القراءات فى المستوى المحدد .
- بدء تشغيل طلمبات التكثيف ومتابعة شدة التيار وفرق الجهد والتأكد من إن القراءات فى المستوى المحدد .
- بدء تشغيل أبراج التبريد ومتابعة شدة التيار وفرق الجهد والتأكد من أن القراءات فى المستوى المحدد .
- قبل بدء تشغيل الماكينة يجب التأكد من عدم وجود أى أصوات أو إنذزارات تحذير بوحدة التحكم.
- بدء تشغيل الماكينة ومتابعة ضغط الزيت ومتابعة شدة التيار وفرق الجهد والتأكد من أن القراءات فى المستوى المحدد .
- متابعة عمل المحطة من خلال (خرائط تعليمات التشغيل) LOG SHEETS .

٢- إيقاف محطة التكييف المركزى

- تخفيض الحمل حتى ٤٠ % .
- بدء إيقاف الماكينة ومتابعة ضغط الزيت حتى ظهور SYSTEM READY TO STOP
- بدء إيقاف أبراج التبريد .
- بدء إيقاف طلمبات التكثيف تتابعيا أى تترك فترة مابين ١-٢ دقيقة بين إيقاف كل طلمبة .
- بدء إيقاف طلمبات المياه المثلجة الابتدائية .
- بدء إيقاف طلمبات المياه المثلجة الثانوية .
- عمل دورة على جميع المعدات والتأكد من عدم وجود تسريب أو أى وصلات مفكوكة أو صوت غير طبيعى أو أى شىء غير طبيعى .

عمليات الصيانة

١- الصيانة الدورية لوحدات توليد المياه المثلجة للطارد المركزى

الصيانة اليومية :-

- فحص مستوى الزيت .
- فحص أى صوت غير طبيعى .
- فحص درجات حرارة الزيت والمحرك .

الصيانة الأسبوعية :-

- فحص مستوى الزيت .
- فحص أى صوت غير طبيعى .
- عمل نظافة شاملة للمحطة والمعدات .
- مراجعة وصيانة دوائر التحكم واللوح الكهربائى .

الصيانة الشهرية :-

- كما فى الأسبوعية .

الصيانة الربع سنوية :-

- عمل إختبار تسريب .
- ضبط الشحنة .
- فحص مستوى الزيت .
- فحص أى صوت غير طبيعى .

الصيانة السنوية :-

- تغيير زيت الضاغط .
- تغيير فلتر الزيت .
- تغيير فلتر (مجفف) الفريون .
- عمل إختبار تسريب .
- مراجعة معايرة أجهزة الحماية والتشغيل .
- مراجعة دائرة البدء وتربيط الوصلات الكهربية .
- عمل إختبار عزل لملفات المحرك .
- غسيل المكثف والمبرد بالكيماويات من خلال دائرة مغلقة .
- ضبط شحنة الزيت والفريون .

٢- الصيانة الدورية لأبراج التبريد

الصيانة اليومية :-

- فحص أى تسريب مياه حول البرج .
- فحص عوامة خط التعويض والتأكد من عملها .
- فحص أى صوت غير طبيعى .

الصيانة الأسبوعية :-

- كما فى اليومية .

الصيانة الشهرية :-
- تشحيم عمود المروحة .
- التأكد من شد السيور .
- فحص المحرك .

الصيانة الربع سنوية :-
- عمل إختبار إتزان للصنابير والسيور .
- فحص أى صوت غير طبيعى .
- عمل غسيل لمصافى المياه .

الصيانة السنوية :-
- عمل صرف كامل للمياه .
- نظافة الأجهزة الداخلية للبرج .
- دهان الأجهزة القابلة للصدأ .
- تغيير السيور .
- فحص كراسى التحميل وتغييرها إذا تطلب التغيير .
- نظافة فونيات الرشاشات .
- فحص دائرة الكنترول ومراجعتها .
- فحص دائرة بدء المحرك وتربيط جميع الوصلات الكهربية .
- ضبط مستوى المياه فى الحوض .

٣ - الصيانة الدورية للمضخات

الصيانة اليومية :-
- فحص أى صوت غير عادى .
- تسجيل قراءات فرق الضغط قبل وبعد المضخة وتسجيل قراءات الأمبير المسحوب .

الصيانة الأسبوعية :-
- كما فى اليومية .

الصيانة الشهرية :-
- كما فى الأسبوعية .

الصيانة الربع سنوية :-
- فحص الوصلة المرنة وعمل إتزان لها .
- تنظيف المصفاة .

الصيانة السنوية :-
- فحص الوصلة المرنة وعمل إتزان لها .
- نظافة المصفاة .
- دهان الأجزاء القابلة للصدأ .
- فحص دائرة التحكم ومراجعتها .
- فحص دائرة المبرد ومراجعتها .
- تربيط جميع الوصلات الكهربية .

محاكاة أعطال وحدات التبريد بإستخدام برامج الكمبيوتر

Refrigeration troubleshooting Simulation

تعتبر تكنولوجيا محاكاة أعطال وحدات التبريد بإستخدام برامج الكمبيوتر من أهم الموضوعات فى مجال التبريد، وهى بإختصار عبارة عن برامج (سوفت وير) يتم إدخالها على الحاسب الألى المتصل بالماكينة عبر كابلات الداتا ويظهرعلى الشاشة الخاصة بالنظام صورة لكل من الدائرة الميكانيكية والكهربية لوحدة التبريد للمحاكاة وتحديد ما يجرى داخل نظام التبريد وتوقع وتحديد الأعطال قبل حدوثها والتغلب عليها.

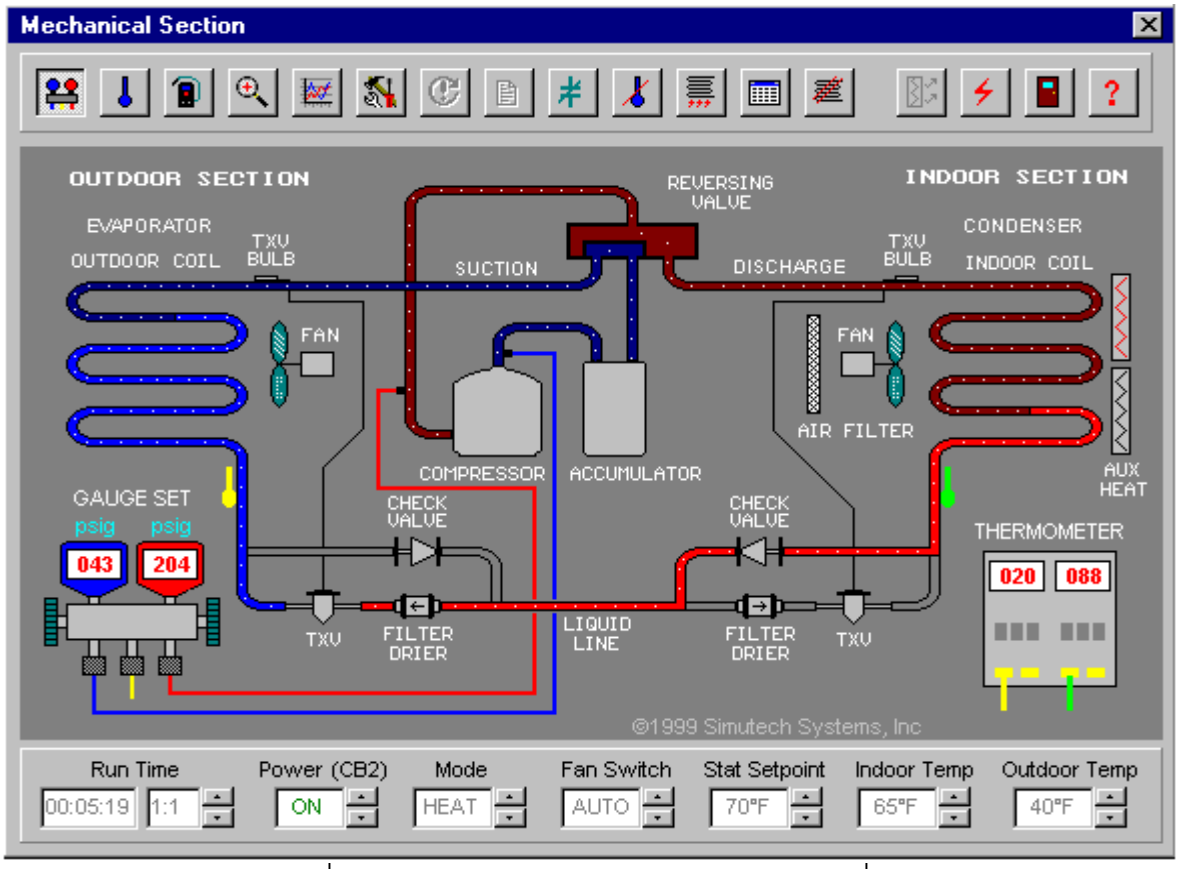
ويمكن الأستفادة من هذه البرامج كالأتى:

١. قياس الضغوط ودرجات الحرارة والرطوبة المختلفة .
٢. إجراء إختبارات التنفيس.
٣. قياس كفاءة النظام.
٤. تحديد ما يجرى داخل نظام التبريد.
٥. توقع وتحديد الأعطال قبل حدوثها والتغلب عليها.

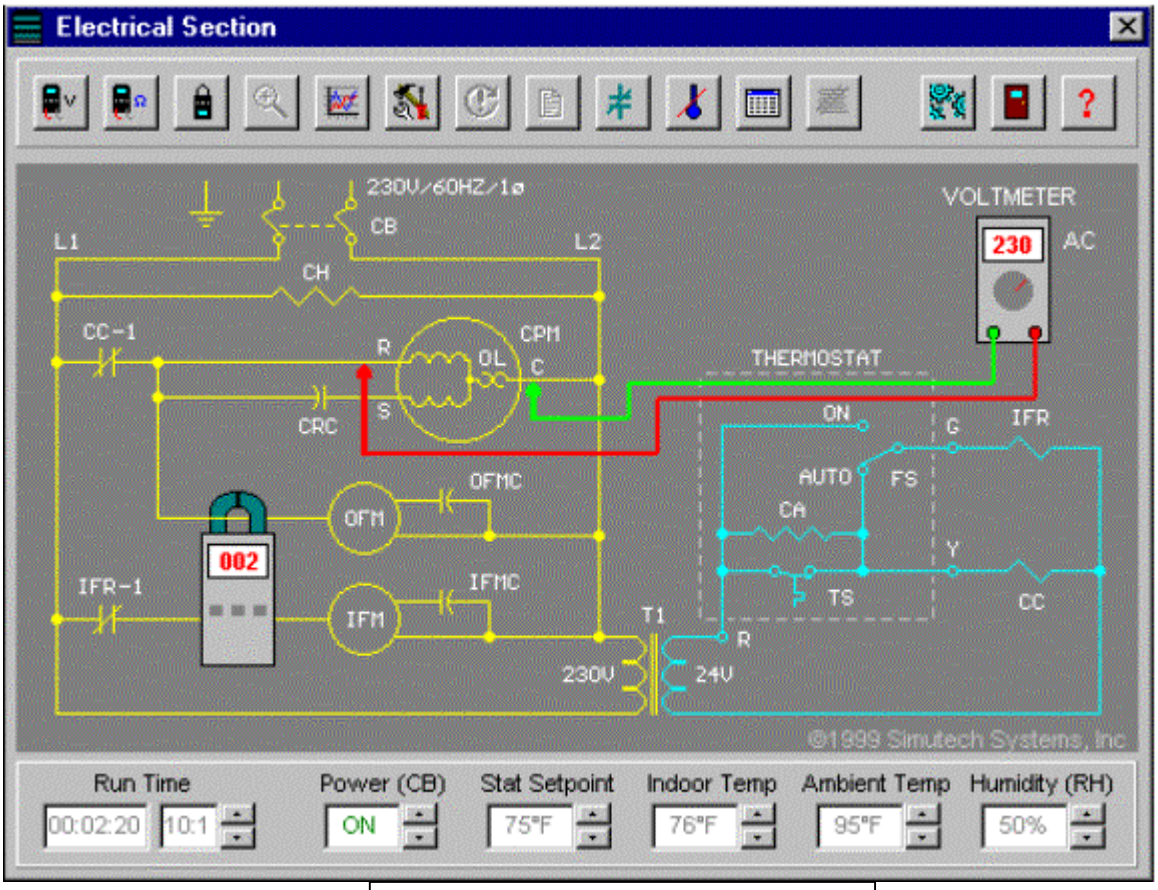
ملحوظة:

يجب عليك بمساعدة مدرسك وقاموس المصطلحات الفنية الملحق بأخر الكتاب التعرف على المصطلحات الفنية المذكورة فى الشرح والرسومات التالية ، وحفظها بذاكرتك كما هى باللغة الأنجليزية حتى تستطيع التعامل معها فى التدريب التطبيقى بالشركة أو عند العمل عموما فى مجال تشغيل وصيانة أجهزة التبريد والتكييف.

الشكليين التاليين يوضحا صورة لكل من الدائرة الميكانيكية والكهربية لوحدة التبريد

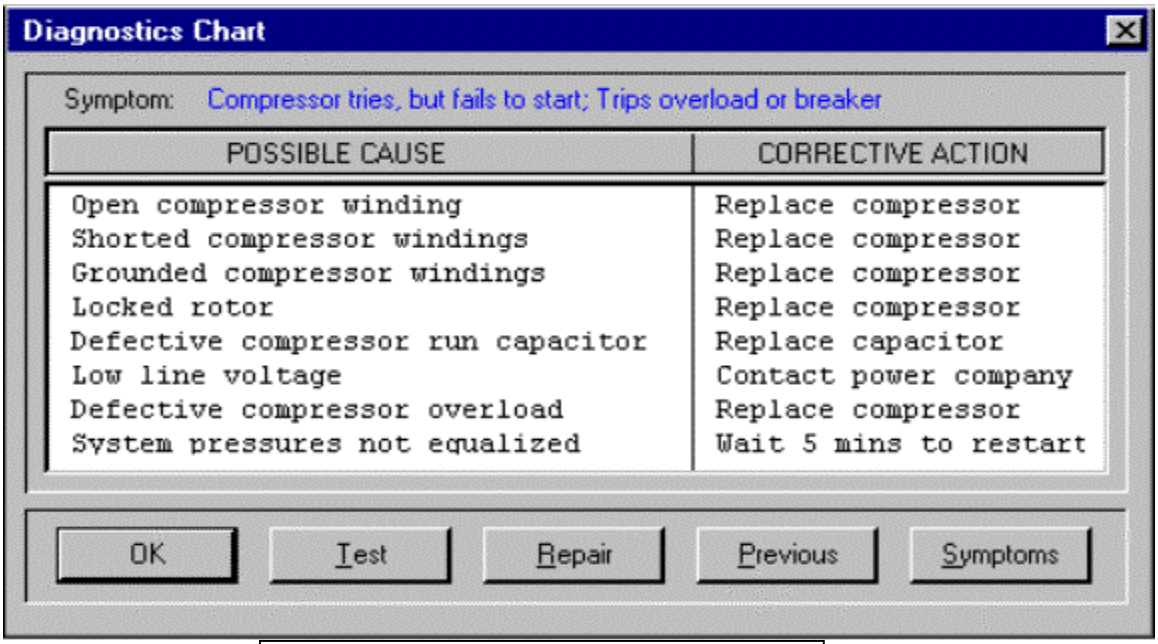


محاكاة الدائرة الميكانيكية لوحدة التبريد

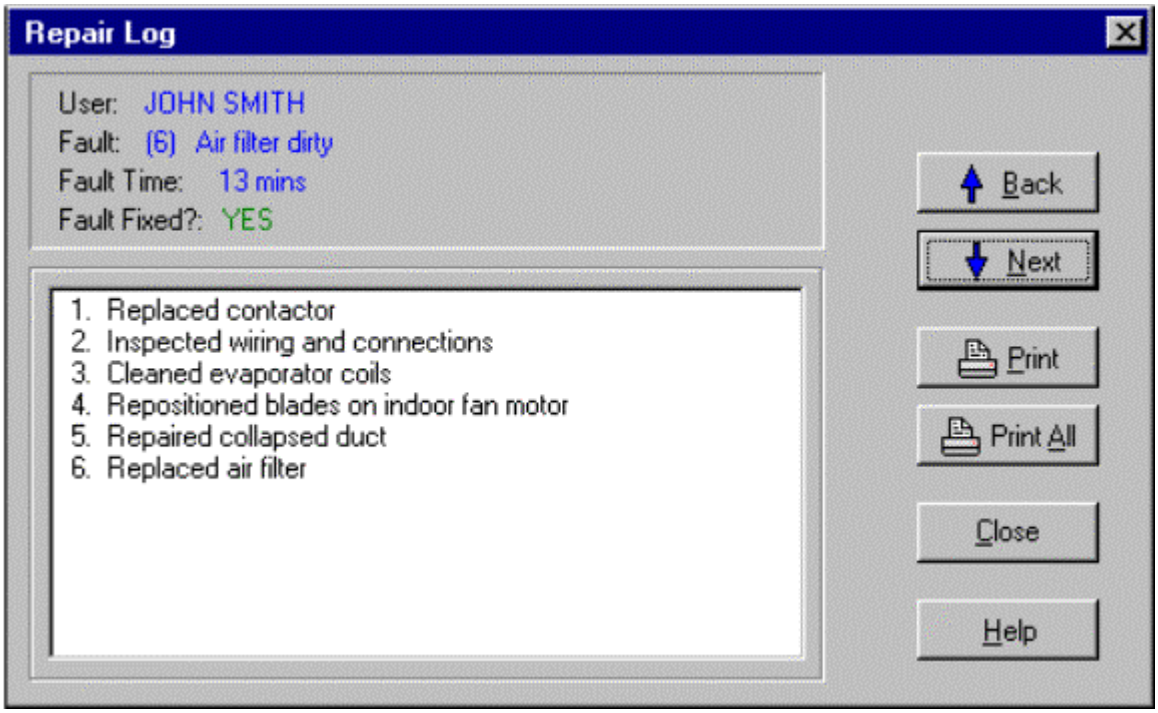


محاكاة الدائرة الكهربية لوحدة التبريد

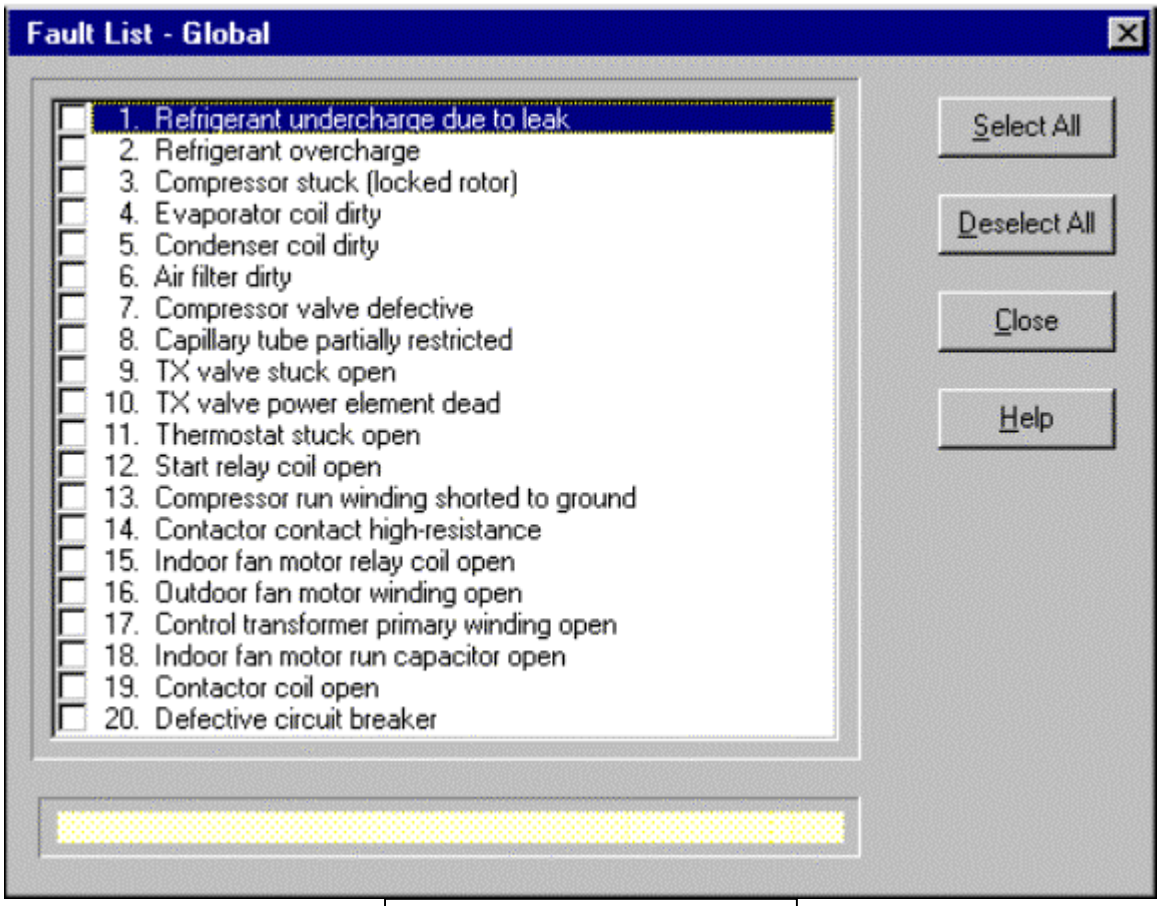
ويمكن من خلال هذه البرامج الحصول على رسومات بيانية وتوضيحية وتقارير هامة كالأتى:



جدول تشخيص الأعطال وكيفية التغلب عليها



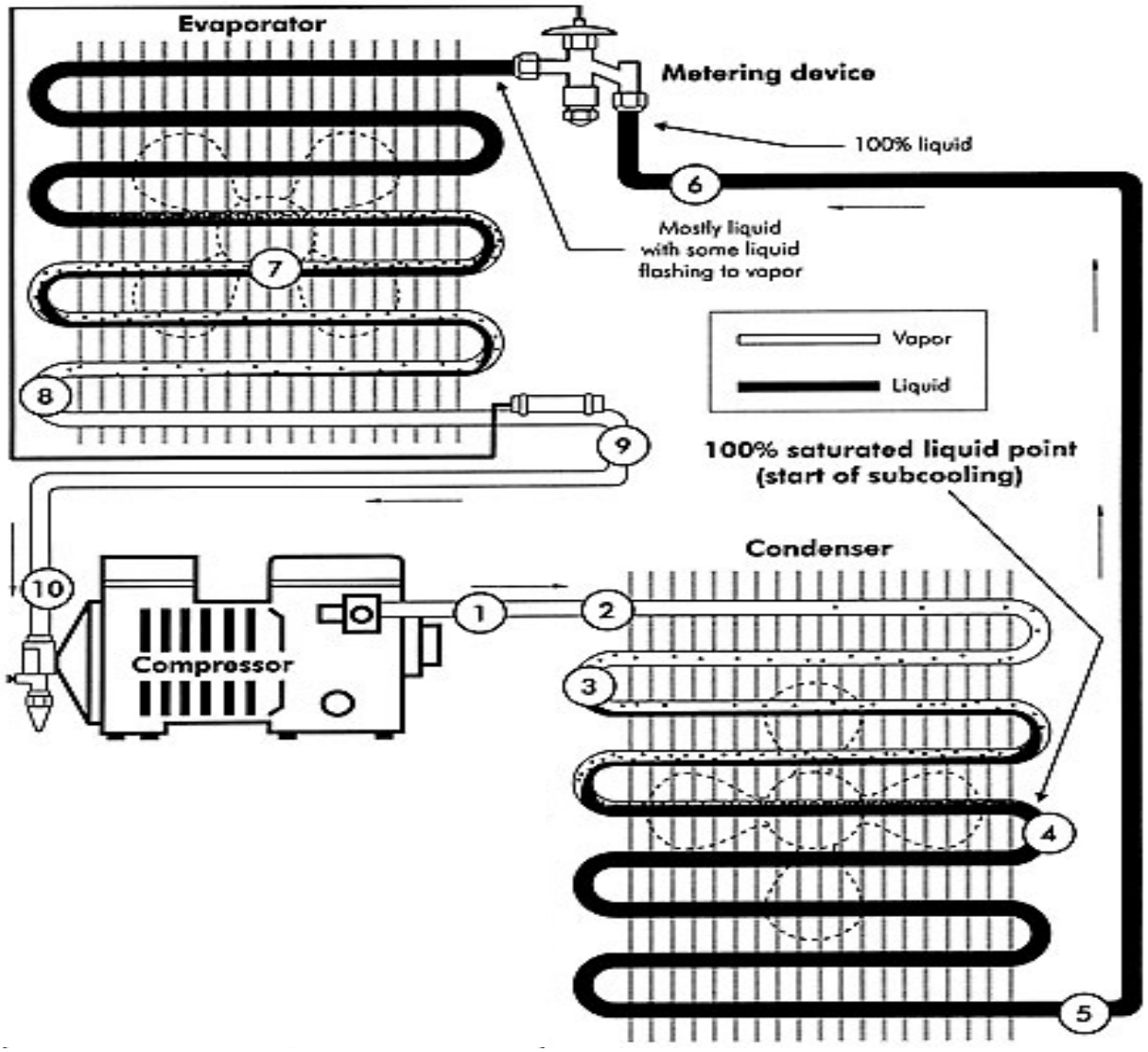
سجل الأصلاح



قائمة الأعطال الشهيرة

وأهم هذه التقارير هو:

التقرير المرفق به الرسم البيانى لوحدة التبريد موضح به حالة وظروف الدائرة وكفاءة أدائها فى ١٠ نقاط أساسية، والشكل التالى يوضح صورة من هذه التقارير الهامة:



Reading Table

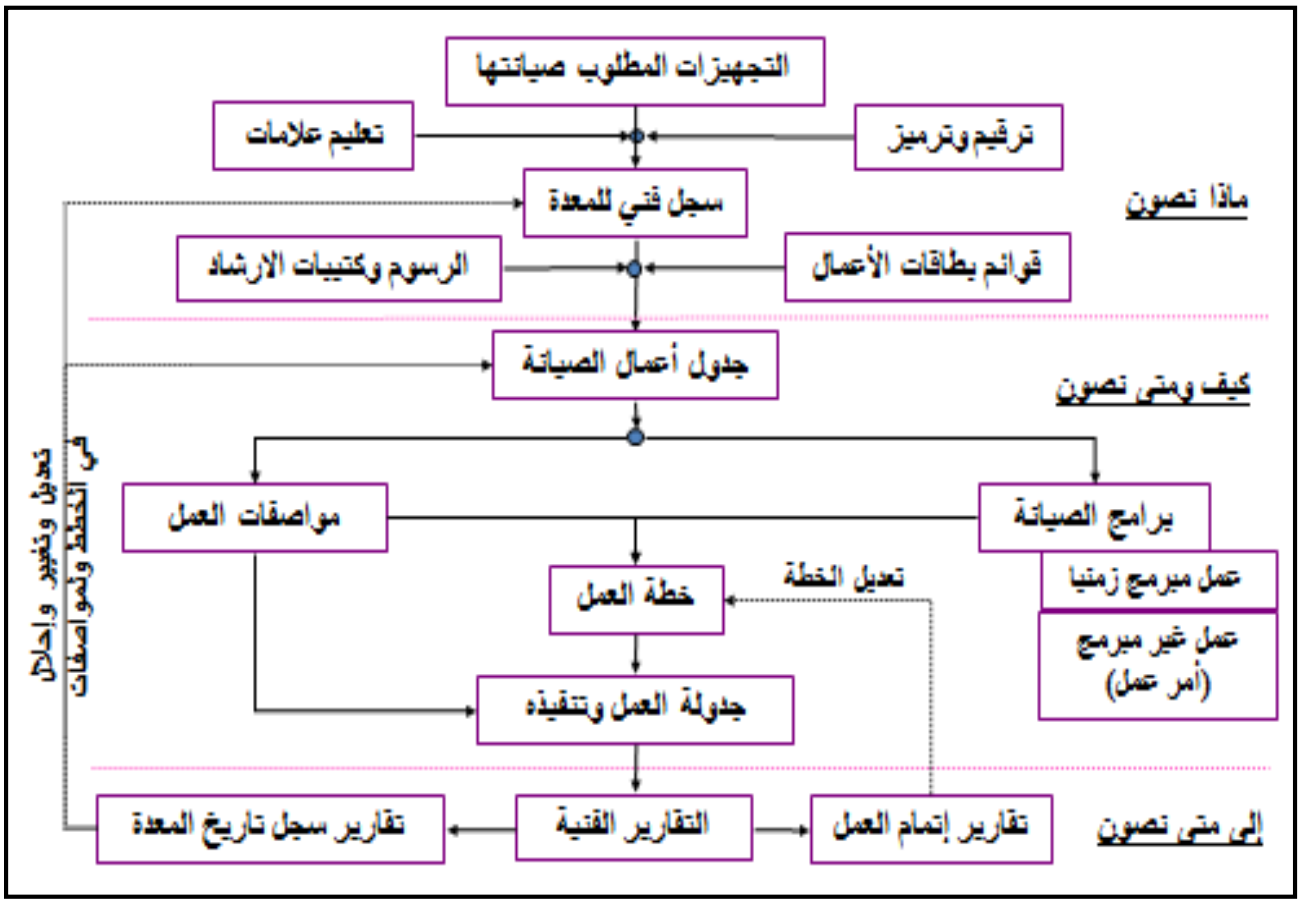
Point	Location	Pressure	Condition	Style
01	Compressor Discharge	High	Superheated	Vapor
02	Condenser Inlet	High	Superheated	Vapor
03	100% Saturated Vapor Point	High	Saturated	Vapor
04	100% Saturated Liquid Point	High	Saturated	Liquid
05	Condenser Outlet	High	Sub cooled	Liquid
06	TXV Inlet (صمام التمدد الحرارى)	High	Sub cooled	Liquid
07	Middle Of Evaporator	Low	Saturated	Vapor and Liquid
08	100% Saturated Vapor Point	Low	Saturated	Vapor
09	Evaporator Outlet	Low	Superheated	Vapor
10	Compressor Inlet	Low	Superheated	Vapor

فكرة عامة عن برامج إدارة الصيانة ببرامج الحاسب الآلى (CMMS)

الجدير بالذكر أن هذه البرامج تستخدم عند تحويل إدارة الصيانة من النظام التقليدى إلى إدارة الصيانة بإستخدام برامج الصيانة بالحاسب الآلى (CMMS) .

Computerized Maintenance Management System

ويوضح المخط التالى التجهيزات الأساسية للتحول الى إدارة الصيانة باستخدام برامج الحاسب الآلى



- وقد تم تطبيق نظم إدارة الصيانة بإستخدام برامج الحاسب الألى منذحوالى عشرين عاماً و دخلت الآن مرحلة النضوج والاستقرار خاصة من منظور وظائف الصيانة الرئيسية، وبدأت الاتجاهات الحديثة تركز حالياً نحو تكامل نظم الصيانة ومشاركتها وتداولها للبيانات مع نظم المعلومات الخارجية وخاصة نظم إدارة المواد والموردين ونظم إدارة الإصلاح للغير والعملاء.
- وتعتمد المفاضلة بين هذه النظم على مدى تكامل كل من النواحى التكنولوجية والنواحى الوظيفية وقدرة الشركة البائعة للنظام على معاونة المنظمة على إنجاز أهداف النظام طوال حياة المشروع فى ضوء الميزانية الموضوعة وبغض النظر عن النظام الذى سيتم إختياره فإن على الشركة توفير الموارد اللازمة للتطبيق.
- حيث يلاحظ إرتفاع معدل إخفاق نظم الصيانة بسبب تجاهل المنظمة للوقت والتكلفة اللازمين لتركيب وتهيئة البرامج وتدريب المستخدمين للنظام وصيانته وعموماً فإن التطبيق السليم لنظام الصيانة يؤدى بالضرورة إلى تقليل حجم المخزون من قطع الغيار وزيادة الإنتاجية وسرعة استرداد الأموال المستثمرة فى النظام وزيادة أرباح العاملين .

الخطوات والبيانات الأساسية المطلوبة لإستخدام برامج الحاسب الآلي فى إدارة عمليات الصيانة

1-Maintenance Management Technical Data (Machine & Intervention File)	**أولا: البيانات الفنية عن الصيانة (ملف المعدة وأعمال الصيانة) وذلك للتكويد**	
Equipment, Sub-Equipment, Spare Parts, Consumables	المعدة، المكونات، قطع الغيار، المستهلكات	١
Technical, Equipment Related, and Budgetary Bill Of Material(BOM)	القوائم الفنية والموازنات للمواد التابعة للمعدة.	٢
Intervention Routing	مسار أعمال الصيانة المختلفة	٣
Other Files (Resource Files, Calendar)	الملفات الأخرى (ملف الموارد- تقويم ساعات وأيام العمل	٤
2-Maintenance Management Process	**ثانيا: وظائف إدارة الصيانة**	
Intervention Planning & Scheduling	تخطيط وجدولة أعمال الصيانة	١
Generating Intervention Request & Work Order	إصدار وتوثيق طلبات أعمال صيانة وأوامر الصيانة	٢
Work Order Control	الرقابة على أوامر الصيانة	٣
Equipment Functions & Type of Maintenance	وظائف المعدات وأنواع الصيانات المختلفة	٤
3-Managing Inventory (Warehouse & Supply Management)	**ثالثا: إدارة المخزون والتوريدات**	
Inventory Data Management	إدارة بيانات المخزون	١
Material Requirement Planning	تخطيط الاحتياجات من المواد	٢
Procurement Procedures (Purchasing, Receiving, and Invoice Control)	الرقابة على الدورة المستندية لتوفير المواد	٣
Distinct Service Purchasing Procedures	الدورة المستندية لتوفير الخدمات للصيانة	٤
(JIT Just-In-Time (replenishment function Parts & Service)	استعواض المخزون والخدمات بأسلوب متقن وسريع	٥
Price Request Function correlated with purchase orders	إصدار طلب أسعار لبنود أوامر الشراء	٦
4- Cost Tracking	**رابعا: متابعة تكلفة الصيانة**	
Costs of Maintenance Management	تكلفة إدارة الصيانة	١
Work Order Valuation, Budgets	تقييم تكلفة أوامر الصيانة	٢
Maintenance Budgets	موازنة الصيانة	٣
5- Analysis & Summery	**خامسا: تحليل وتلخيص أداء الصيانة**	
Managing Report Logs	إدارة السجلات والتقارير	١
Studies of Equipment Behavior	دراسة أداء المعدات	٢
Maintenance Management & ISO 9000	إدارة الصيانة والمواصفات العالمية	٣
Maintenance Management & Customer Satisfaction	إدارة الصيانة وخدمة العميل	٤

الباب التاسع

المقايسات

Assays

المقايسات

١- المفاهيم الأساسية لعلم المقايسات

تعريف المقايسات:

المقايسات هى: علم يدرس النواحى الفنية الخاصة بحسابات إجمالى التكاليف المتعلقة بمعرفه وتقدير انشاء أو اصلاح أو تركيب للمعدات أو الاجهزه او عمل التوصيلات لأى عمليه مهما كان حجمها.

ويتم ذلك بمعرفه الخامات اللازمه والعمليات الصناعيه التى تجرى بالتفصيل حتى إنتهاء الشغله ، وذلك فى خطوات مرتبه متتابعه قبل بدء التنفيذ حتى يمكن معرفه نوع المعدات اللازمه للتنفيذ من عدد وآلات وعمال ورأس مال، وبذلك يمكن الوصول إلى أفضل الطرق الإقتصاديه للصيانة والإصلاح ، إذ أنه كلما راعينا الإقتصاد فى النفقات كلما إستطعنا تخفيض التكلفة النهائية والمنافسه مع الجهات الأخرى بشرط ألا يؤثر ذلك على الدقة والجودة .

الشروط الواجب توافرها فى المقايسة :-

١. أن تكون واقعية ومتصلة بالبيئة المحيطة.
٢. أن تكون المواصفات سليمة وصحيحة ومطابقة لامكانيات السوق .
٣. أن تساير التطور العلمى والفنى ومراكز الابحاث .
٤. أن تكون الاصناف المدونة متوافقة مع بعضها البعض .
٥. أن تكون الكميات المدونة دقيقة كما أمكن .

الشروط الواجب توافرها فى الشخص الذى يقوم بعمل المقايسه :

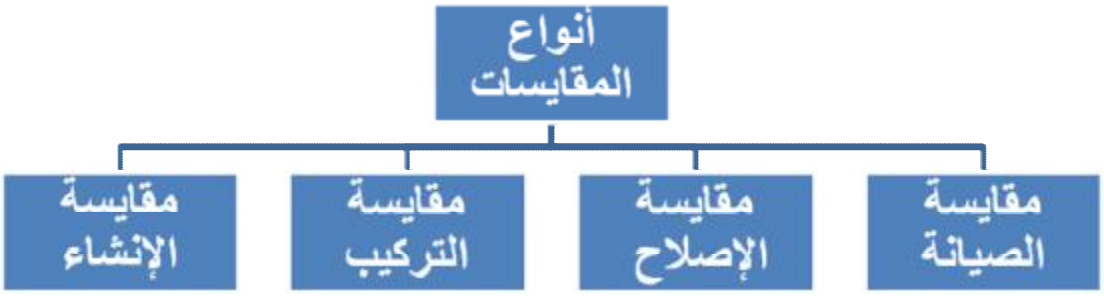
١. أن يكون على إتصال دائم بالحياه العمليه للإلمام بأحدث الإكتشافات والأعمال الجديده الخاصه بالعمل.
٢. أن يكون ملم بمواصفات الخامات والأجهزه وقطع الغيار التى تلزم العمل.
٣. أن يكون على إتصال دائم بالأسواق لمعرفه التطور فى الأسعار أولا بأول .
٤. أن يكون ملما بما يلزم لتنفيذ المقايسات المختلفه حتى تكون تقديراته دقيقة.

الغرض من المقايسة :

معرفة كيفية تقدير تكلفة الصيانة والأصلاح قبل البدء فى التنفيذ ويتم ذلك من خلال:

١- تقدير الخامات اللازمة للتصنيع وتصنيفها وتجميعها.
٢- تقدير أزمنة التشغيل .
٣- تقدير المصاريف غير المباشرة .
٤- تقدير العائد ومنه حساب التكلفة النهائية.
٥- تقديرأ تشوين الخامات ومدة تخزينها.
٦- حصر الإعتمادات المالية .
٧- الإلمام بحالة العرض والطلب .

وهناك عدة أنواع من المقايسات فى مجال التبريد والتكييف وهى:-



١- مقايسة الصيانة :-

المقصود بها الخامات والخطوات اللازمة للمحافظة على كفاءة تشغيل الماكينات طبقا لجداول تكاليف مقننة للزمن والأجر فمثلاً (كرسى المحور يحتاج الى عملية صيانة سواء كان كرسى محور رمان بلى يحتاج الى تشحيم او كرسى محور يرتكز على جلب يحتاج الى تزييت كل دورة صيانة) .

٢- مقايسة الاصلاح :-

المقصود بها تغير الأجزاء التالفة بأخرى سليمة أو إصلاحهافمثلاً (تغيير الفريزر التالف أوتغيير الضاغط التالف ومايتبعه من قطع مواسير ولحامات وشحن وتفريغ ...الخ)

٣- مقايسة التركيب :

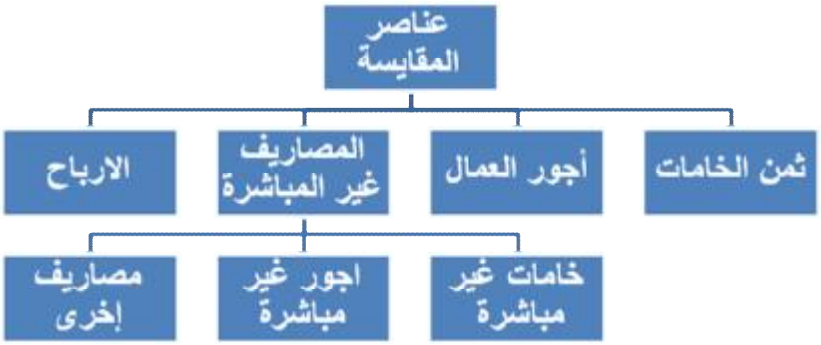
المقصود بها تركيب معدات وأجهزة التبريد والتكييف فمثلا (تركيب جهاز تكييف هواء ومايتبعه من حفر فى الحائط وبياض وخلافة) .

٤- مقايسة الإنشاء :-

مثل إنشاء أراج التبريد للوحدات المركزية

عناصر المقايسة :

١- ثمن الخامات
٢- أجور العمال والآلات
٣- المصاريف غير المباشرة
٤- الأرباح



١- ثمن الخامات :-

وهو ثمن الخامات المباشرة اللازمة لعمل المقايسة وتظهر فى الشغلة بعد إنتاجها ويمكن تقديرها فى المنتج بحساب الأطوال والمساحات والحجوم.

٢- أجور العمال :-

وتشمل الأجور التى يحصل عليها العمال المكلفون بالعمل وتحسب كالتالى:

أجر العامل = الزمن الذى يؤجر عليه العامل × فئة الأجر

الزمن الأساسى = زمن التجهيز + زمن العملية + زمن سماح الإجهاد

الزمن الذى يؤجر عليه العامل = الزمن الأساسى + زمن سماح المكافأة

ويقدر زمن سماح الإجهاد= ١٥% من زمن العملية ، زمن سماح المكافأة = ٢٥% من الزمن الأساسى

٣- المصاريف غير المباشرة :-

وتشتمل على (خامات غير مباشرة - أجور غير مباشرة- مصاريف أخرى غير مباشرة)

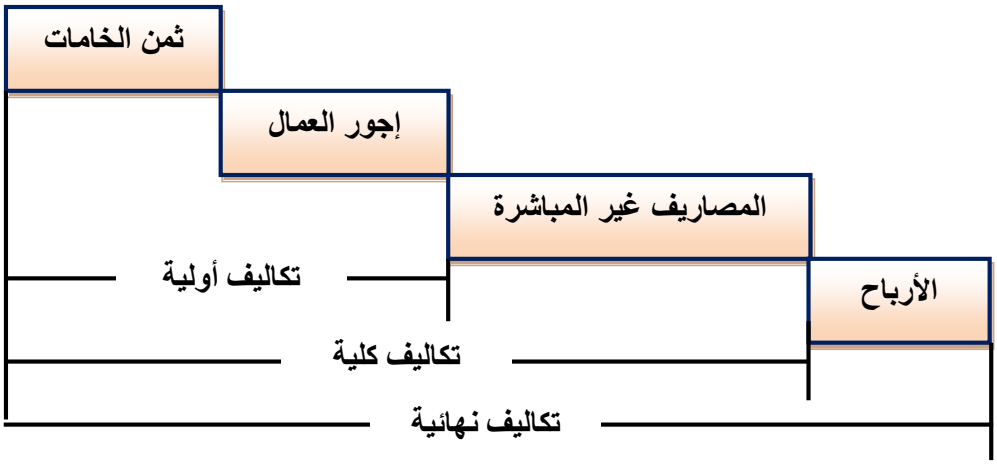
- خامات غير مباشرة: وتشمل تكاليف الصيانة مثل الزيت المستعمل فى تشحيم رولمان البلى وسلاح المنشار المستهلك فى التقطيع والمبارد المستهلكة .
- أجور غير مباشرة وتشمل: الأجور المنصرفة على الهيكل الإدارى مثل المديريون والملاحظون وعمال النقل والحراسة وخلافه.
- مصاريف أخرى غير مباشرة وتشمل: الإضاءة المستخدمة فى المصانع ، سواء فى مبانى الإدارة والورش ، وإستهلاك المياه، والعدد والماكينات، وإستهلاك الأثاث، ومصاريف البيع وما يتطلب من مصاريف دعاية وإعلانات، وتليفونات وتلكسات وفاكسات، ومصاريف التعويضات عن الحوادث التى قد تحدث للعمال أثناء قيامهم بالعمل، والتأمينات، والضرائب ومصاريف الشحن والتعبئة وخلافه .

ويمكن تقدير التكاليف غير المباشرة بحوالى ١٥٠% من أجور العمال إذا لم تذكر فى رأس المقايسة.

٤- الأرباح :-

الأرباح هى العائد الذى يحققه المشروع ومقياس النجاح الإقتصادى ومؤشر لإستمرار العمل من عدمه .

نظام بناء التكاليف:-



- ثمن الخامات
- أجور العمال = الزمن الذى يؤجر عليه العامل × فئة الاجر
- التكاليف الأولية = ثمن الخامات + اجور العمال
- التكاليف الكلية = التكاليف الأساسية + المصاريف غير المباشرة
- الأرباح = ٢٠% من التكاليف الكلية (أو حسب مايذكر بالمقايسة)
- التكاليف النهائية = التكاليف الكلية + الأرباح

وإذا كانت هناك نسبة ضريبية محددة مثل (ضريبة المبيعات) يتم إضافاتها للسعر النهائى للأصلاح أو الصيانة.

مقايسة رقم (١)

مثال تطبيقى للتدريب على نظام بناء التكاليف
فى عملية تصنيع ديب فريزر كان ثمن الخامات ١٥٠٠ جنيها ، وأجور العمال ٥٠٠ جنيها ، والمصاريف غير المباشرة ٦٠% من التكاليف الأساسية ، والربح ٢٠% من تكاليف الإنتاج .
إحسب التكاليف النهائية لتصنيع الديب فريزر.

الحل:

- التكاليف الأساسية = ثمن الخامات + أجور العمال
= ١٥٠٠+ ٥٠٠ = ٢٠٠٠ جنيها

- التكاليف الكلية = التكاليف الاساسية + التكاليف غير المباشرة

- المصاريف غير المباشرة = $\frac{٦٠}{١٠٠}$ × ٢٠٠٠ = ١٢٠٠ جنيها
- التكاليف الكلية = ٢٠٠٠ +١٢٠٠ = ٣٢٠٠ جنيها

- الارباح = $\frac{٢٠}{١٠٠}$ × ٣٢٠٠ = ٦٤٠ جنيها

- التكاليف النهائية = التكاليف الكلية + الارباح
= ٣٢٠٠ +٦٤٠ = ٣٨٤٠ جنيها

مقايسة رقم (٢) تغيير مكثف ثلاجة

بالكشف على ثلاجة منزلية ذات دائرة تبريد عادية فى مركز لصيانة أجهزة التبريد وتكييف الهواء، وجد أن المكثف المركب بها تالف ويلزم إستبداله بآخر جديد.

والمطلوب عمل مقايسة التكاليف النهائية لإستبدال المكثف وإصلاح الثلاجة ، وذكر خطوات العمل علماً بأن:

- زمن التجهيز ١٥ دقيقة.
- ثمن المكثف ٤٠ جنيها.
- ثمن المجفف ٥ جنيهات.
- ثمن مركب التبريد المستخدم لإعادة شحن دائرة التبريد ١٥جنيه.
- التكاليف غير المباشرة تحسب بنسبة ١٥٠% من أجور العمال.
- أجر العامل الفنى ٦جنيهات في الساعة وأجر العامل المساعد جنيهان فى الساعة.
- الأرباح تقدر بنسبة ١٠% من التكاليف الكلية.
- زمن العملية ثلاث ساعات وربع الساعة.
- ويقدر زمن سماح الإجهاد= ١٥% من زمن العملية ، زمن سماح المكافأة = ٢٥% من الزمن الأساسى

الحـل:

أولاً : حساب ثمن الخامات

م	اسم الصنف ومواصفاته	ثمن الصنف		ملاحظات
		قرش	جنيه	
١	مكثف جديد	ــ	٤٠	
٢	مجفف جديد	ــ	٥	
٣	مركب التبريد المستخدم	ــ	١٥	
	إجمالي ثمن الخامات	ــ	٦٠	

حساب الزمن الذي يؤجر عليه العمال:

زمن سماح الإجهاد= ١٥% من زمن العملية = ٣.٢٥×١٥\١٠٠= ٠.٤٨٧٥ساعة

الزمن الأساسى = زمن التجهيز + زمن العملية + زمن سماح الاجهاد

= ١٥/٦٠ + ٣.٢٥ + ٠.٤٨٧٥ = ٣.٩٨٧٥ ساعة = ٤ساعات تقريباً

زمن سماح المكافأة = ٢٥% من الزمن الأساسى = ٤× ٢٥\١٠٠=ساعة تقريباً

الزمن الذى يؤجر عليه العمال = الزمن الأساسى + زمن سماح المكافأة = ٥ ساعات

أجر العامل الفنى = الزمن × أجره فى الساعة= ٥× ٦ = ٣٠ جنيها

أجر العامل المساعد= ٥×٢ = ١٠ جنيهات

جملة أجور العمال = ٣٠+١٠=٤٠ جنيها

ثانياً : التكاليف النهائية:

م	بيان الصرف	التكلفة		ملاحظـــات
		قرش	جنيه	
١	ثمن الخامات	ــ	٦٠	
٢	أجور العمال	ــ	٤٠	التكاليف غير المباشرة
٣	التكاليف غير المباشرة	ــ	٦٠	=٤٠×١٥٠\١٠٠= ٦٠ جنيه
٤	التكاليف الكلية	ــ	١٦٠	
٥	الأرباح	ــ	١٦	الأرباح = ١٠×١٦٠\١٠٠= ١٦بنيهاً
(تكاليف إصلاح الثلاجة)		ــ	١٧٦	

خطوات العمل لإصلاح الثلاجة:

م	العملية
١-	فصل التيار الكهربى عن الثلاجة وقطع ماسورة الشحن والتفريغ لطرد شحنة مركب التبريد ولحام وصلة تشغيل بماسورة الشحن والتفريغ الملحومة بجسم الضاغط والتى تم قطعها عند النهاية المخفوسة .
٢-	قطع مواسير مدخل ومخرج المكثف التالف وكذلك المجفف القديم.
٣-	فك مسامير تثبيت المكثف التالف بالثلاجة ورفعه من مكانه.
٤-	تنظيف أماكن القطع بالمواسير قبل توصيلها بالمكثف الجديد ثم تلحم به.
٥-	تركيب المجفف (الفلتر) الجديد فى خط السائل.
٦-	تثبيت المكثف الجديد بالمساميرمكانه خلف كابينة الثلاجة.
٧-	لحام مدخل المكثف بالضاغط ومخرج المكثف بالمجفف.
٨-	عمل تفريغ للدائرة والتأكد من عدم وجود تنفيس بها.
٩-	إعادة شحن الدائرة بمركب التبريد المناسب بالكمية المناسبة.
١٠-	توصيل التيار الكهربى واختبار عمل الدائرة.

الزمن اللازم لإتمام العملية = ٣.٢٥ساعة

مقايسة رقم (٣) تركيب جهاز تكييف هواء طراز الشباك

المطلوب:

١- حساب الزمن اللازم لتركيب جهاز تكييف هواء طراز الشباك فى إحدى غرف منزل.

٢- حساب مقايسة التكاليف النهائية لتركيب الجهاز.

إذا علمت أن مصدر التغذية بالتيار الكهربى يبعد عن مكان تركيب الجهاز مسافة ٨ أمتار ويلزم تغذية الجهاز عن طريق كابل ثرموبلاستيك يتم تثبيته خارج الحائط مع تركيب مفتاح حماية خاص بالجهاز علماً بأن:

١- ثمن مفتاح الحماية ٥٠ جنيها.

٢ - ثمن المتر الطولى من كابل التغذية ٦ جنيهات.

٣- ثمن الإطار الخشب اللازم لتركيب الجهاز ٤٥ جنيها.

٤- ثمن الخامات المساعدة ٧ جنيهات.

٥- أجر العامل الفنى ٨ جنيهات فى الساعة والعامل المساعد ٣ جنيهات فى الساعة.

٦- التكاليف غير المباشرة ٣٥ جنيها.

٧- الأرباح تحسب بواقع ١٠% من التكاليف الكلية.

الحـــــــل:

أولاً :حساب الزمن اللازم لتركيب الجهاز:

(ملحوظه: الخطوات والأزمنة التالية هى تقديرية وشائعة فى المجال)

م	العملية	الزمن	
		دقيقة	ساعة
١	تحديد مكان تركيب الجهاز .	١٠	--
٢	حفر مكان تركيب الجهاز بالحائط.	٣٠	١
٣	تركيب الإطار الخشبىوضبطه وتثبيته جيداً وسد الفراغات حوله .	٣٠	--
٤	مد كابل التغذية وتثبيت مفتاح الحماية.	٣٠	--
٥	تركيب الجهاز فى موضعه داخل الإطار الخشبى.	٣٠	--
٦	توصيل أطراف كابل التغذية بالجهاز ومفتاح الوقاية ومنبع التيار.	١٠	--
٧	توصيل التيار الكهربى واختبار عمل الجهاز.	٣٠	--
الزمن اللازم لإتمام عملية تركيب الجهاز		**--**	**٤**

ثانياً :حساب ثمن الخامات:

م	اسم الصنف ومواصفاته	ثمن الصنف		ملاحظات
		قرش	جنيه	
١	مفتاح الحماية	ــ	٥٠	ثمن الكابل=٨×٦ = ٤٨ جنيه
٢	كابل تغذية بطول ٨متر	ــ	٤٨	
٣	إطار خشب جاهز	ــ	٤٥	
	ثمن الخامات المساعدة	ــ	٧	
	إجمالى ثمن الخامات	ــ	**١٥٠**	

حساب أجور العمال:

أجر العامل الفنى = زمن العملية × أجره فى الساعة

= ٤× ٨= ٣٢ جنيها

أجر العامل المساعد =٤×٣=١٢ جنيها

جملة أجور العمال=٣٢+١٢=٤٤ جنيها

ثالثاً : حساب التكاليف النهائية:

م	البيان	التكلفة		ملاحظـــات
		قرش	جنيه	
١	ثمن الخامات	-	١٥٠	
٢	أجور العمال	-	٤٤	
٣	التكاليف غير المباشرة	-	٣٥	
٤	التكلفة الكلية	-	٢٢٩	
٥	الأرباح	٩٠	٢٢	الأرباح = ١٠\١٠٠×٢٢٩= ٢٢,٩
٦	**التكاليف النهائية**	٩٠	٢٥١	

مقايسة رقم (٤) إجراء عملية صيانة دورية لجهاز تكييف هواء غرف مجزأ (إسبليت) فى مكان تركيبه

المطلوب:

١- حساب الزمن اللازم لإجراء عملية صيانة دورية لجهاز تكييف هواء غرف مجزأ (إسبليت) فى مكان تركيبه.
٢- حساب مقايسة التكاليف النهائية لصيانة الجهاز.

علماً بأن:

١- الوحدة الداخلية مركب بها مرشح من النوع الدائم الاستعمال، محرك المروحة من النوع المشحم بصفة دائمة والوحدة مزودة بسخانات كهربائية للتدفئة شتاءً .
٢- الوحدة الخارجية مركب بها ضاغط محكم القفل ومكثف يبرد بالهواء.
٣- ثمن مواد الطلاء المستخدمة ٢٠ جنيها.
٤- أجر العامل الفنى ٦ جنيهات فى الساعة وأجر العامل المساعد جنيهان فى الساعة.
٥- التكاليف غير المباشرة ٤٠ جنيها.
٦- الأرباح تحسب بواقع ٢٠% من التكاليف الكلية.

الحـــــــل:

أولاً :حساب الزمن اللازم لصيانة الجهاز:

(ملحوظه: الخطوات والأزمنة التالية هى تقديرية وشائعة فى المجال)

م	العملية	الزمن	
		دقيقة	ساعة
	ولاً : الوحدة الداخلية:		
١-	فصل التيار الكهربى عن الجهاز ورفع غطاء الوحدة للوصول إلى الأجزاء الداخلية	١٠	
٢-	رفع مرشح الهواء وتنظيفه عن طريق غسله وتجفيفه	١٠	
٣-	تنظيف كلُ من حوض تجميع الرطوبة المتكاثفة ومواسير التصريف المتصلة بهذا الحوض	٢٠	
٤-	تنظيف ملف المبخر	٢٠	
٥-	فحص المروحة وتنظيف ريشها	٢٠	
٦-	فحص السخانات الكهربائية وتنظيفها	١٥	
٧-	تنظيف الأجزاء الداخلية للوحدة وتنظيف الأماكن التى ظهر بها صدأ ويتم ذلك بواسطة فرشة سلك ثم يتم إعادة طلاءهذه الأجزاء	--	١
٨-	إعادة تركيب مرشح الهواء	٥	
	ثانياً : الوحدة الخارجية:		
٩-	تنظيف ملف المكثف	٢٠	
١٠-	تشحيم محرك المروحة (طبقاً لتعليمات التشحيم للشركة)	١٠	
١١-	تنظيف ريش المروحة وفحص رباط (صرة) المروحة على عمود الإدارة	١٠	
١٢-	تنظيف الأجزاء الداخلية والخارجية للوحدة	٢٠	
١٣-	عمل اختبار تنفيس كامل للوحدة	٢٠	
١٤-	تركيب غطاء الوحدة الداخلية فى مكانه واحكام قفله وكذلك غطاء الوحدة الخارجية توصيل التيار الكهربى للجهاز واختبار عمل الدائرة وتشطيب العمل	--	١
	الزمن اللازم لإتمام العملية	--	**٥**

ثانياً :حساب إجور العمال:

أجر العامل الفنى = زمن العملية × أجره فى الساعة

= ٥× ٦= ٣٠ جنيها

أجر العامل المساعد =٥×٢ =١٠ جنيهات

جملة أجور العمال =٤٠+١٠=٥٠ جنيها

ثالثاً : حساب التكاليف النهائية:

م	البيان	التكلفة		ملاحظـــات
		قرش	جنيه	
١	ثمن الخامات	-	٢٠	
٢	أجور العمال	-	٥٠	
٣	التكاليف غير المباشرة	-	٤٠	
٤	التكلفة الكلية	-	١١٠	
٥	الأرباح	٩٠	٢٢	الأرباح = ١٢٠\١٠٠×١١٠= ٢٢
٦	**التكاليف النهائية**	٩٠	١٣٢	

٢- مقايسات أعمال التبريد وتكييف الهواء

مقدمة:

لقد تعرفنا فى الأبواب السابقة لهذا الكتاب على علوم التبريد والتكييف وتعرضنا لكيفية حساب القدرة الحرارية الإنضغاطية والأحمال الحرارية وحساباتها بأمثلة تطبيقية فى وخواص الهواء وطرق التهوية الصناعية.

وتعرفنا كذلك على أساسيات الصيانة ونظم محاكاة أعطال وحدات التبريد بإستخدام برامج الحساب الآلى وكذلك نظم إدارة الصيانة بإستخدام برامج الحاسب الآلى (CMMS) .

وتعرفنا فى الجزء الأول من هذا الباب على المفاهيم الأساسية لعلم المقايسات من خلال تعريف المقايسات وأهدافها وعناصرها وخطوات تنفيذها وكذلك على نظام بناء التكاليف ، وقمنا بحل مثال تطبيقى عليه لمجرد التدريب على الخطوات الرئيسية للمقايسات .

ولكننا فى الجزء الثانى من هذا الباب سوف نقوم بشرح أمثلة تطبيقة لأعمال التبريد وتكييف الهواء فى المجالات المختلفة التى تمكننا من العمل فى هذا المجال بطريقة جيدة فى الداخل والخارج .

ملاحظات هامة:

- جميع القوانين والمعادلات الرياضية التى سوف نستخدمها فى حل المقايسات التالية يمكن الرجوع اليها فى الأبواب السابقة .
- المصطلحات الفنية والوحدات والتحويلات يتم الرجوع اليها فى الملاحق الهامة الموجودة فى أخر الكتاب.
- القيم التى سوف نستخدمها للظروف والعوامل الجوية هى قيم تقريبية حيث تختلف من بلد إلى اخرى.

طرق حساب الحمل الحرارى للغرف والمكاتب

لتحديد قدرات وحدات التبريد والتكييف اللازمة للغرف والمكاتب توجد عدة طرق لحساب الأحمال الحرارية منها :

١- إستخدام الجداول التقريبية الثابتة .
٢- الطريقة التقريبية.
٣- الطريقة الدقيقة (بإستخدام المعادلات والقوانين).

١- استخدام الجداول التقريبية الثابتة (طريقة سهلة وسريعة وتقريبية) :

السعة بالوحدة الحرارية البريطانية اللازمة لتكييف غرف لها مساحات أوأحجام مختلفة وحوائطها (جدرانها)

ويجب تحديد الحيز(السقف) الموجود أعلى الغرفة فى الحالات الآتيه:

- إذا كانت الغرفة مشغولة
- إذا كانت ذات فراغ هرمى
- إذا كان السقف مستوى معزول

سعة تبريد الجهاز بالتقريب و. ح. ب	الحيز الموجود أعلى الغرفة المطلوب تبريدها								
	غرفة مشغولة			فراغ هرمى			سقف مستوى معزول		
	المساحة (بالقدم المربع) المطلوب تبريدها ولها حوائط (جدران) معرضة للاتجاهات								
	شمال أو شرق	جنوب	غرب	شمال أو شرق	جنوب	غرب	شمال أو شرق	جنوب	غرب
٦٠٠٠	٤٠٠	٢٠٠	١٠٠	٢٠٠	١٠٠	٦٤	٢٥٠	١٢٠	٨٠
٧٠٠٠	٤٩٠	٢٥٠	١٢٥	٢٣٥	١٣٠	٩٧	٢٩٥	١٥٥	١٠٥
٨٠٠٠	٥٨٠	٣٠٠	١٥٠	٢٧٠	١٦٠	١٣٠	٣٤٠	١٩٠	١٣٠
١٠٠٠٠	٧٥٠	٤٤٠	٣٩٠	٣٤٠	٢٧٠	٢٠٠	٤٧٠	٣٤٠	٢٤٠
١٢٠٠٠	٩٢٠	٥٨٠	٤٧٠	٤١٠	٣٢٠	٢٢٥	٥٥٠	٣٧٥	٢٧٥
١٣٠٠٠	١٠٠٠	٦٦٠	٥٥٠	٤٥٠	٣٥٠	٢٥٠	٦٠٠	٤٠٠	٣٠٠
١٦٠٠٠	١٢٩٠	٩٧٠	٧٩٠	٥٧٠	٤٨٠	٣٩٠	٧٥٠	٦٥٠	٥٤٠

ملحوظة هامة:

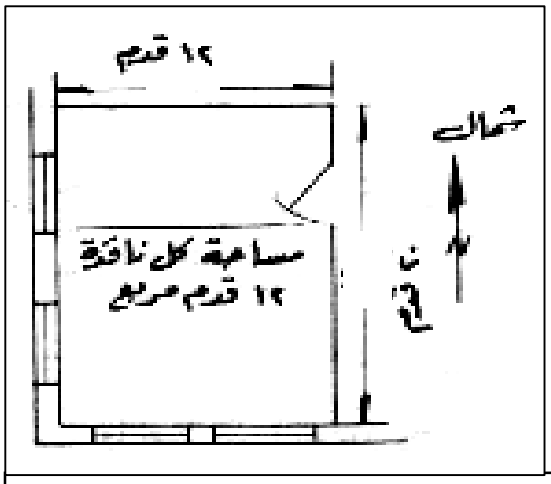
يستخدم الجدول السابق فقط لإعطاء فكرة سريعة تقريبية عن سعة الجهاز المطلوب، ولكن عند التصميم والحسابات الدقيقة يتم حساب الأحمال الحرارية كما سوف نوضح فيما بعد .

الجدول التقريبى يبين بطريقة سهلة وسريعة وبالتقريب :

السعة بالوحدة الحرارية البريطانية اللازمة لتكييف غرف لها مساحات أوأحجام مختلفة وحوائطها (جدرانها) معرضه لإتجهات خاصة وإرتفاعها حوالى ٨ اقدام (٢.٤٥م).

مقايسة رقم (٥) حساب حمل التبريد الخاص باماكن الأقامة

غرفة أبعادها كما هو مبين فى الرسم تحتها يوجد مكان مشغول سقفها غير مشغول وعدد الأشخاص بها : ٢
والمطلوب حساب سعة جهاز تكييف الهواء اللازم لهذه الغرفة



(١) جدول حساب حمل التبريد الخاص بأماكن الإقامة .

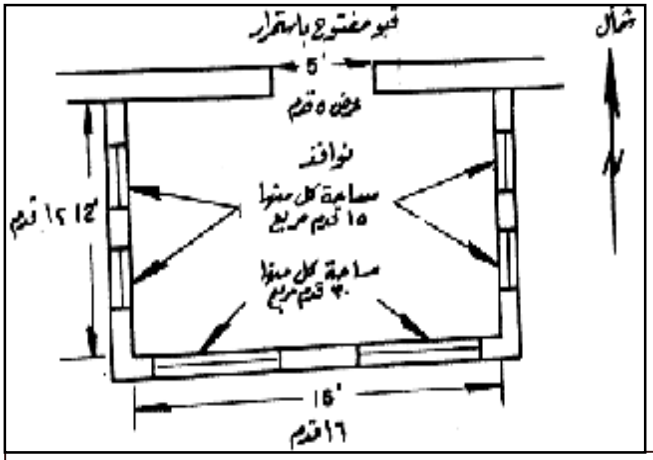
الاسم : ..... التاريخ : .....
العنوان : ..... التليفون : .....
نوع الغرفة : ..... حساب حمل التبريد تم بمعرفة .....

البند الخاص بـ		الكمية		المعامل: درجة حرارة الخارج الجافة ٩٥°	١٠٠°	١٠٥°		وحدات التبريد
الحائط الداخلى (يستعمل عندما تكون أطول الحوائط غير معرضة للخارج)		.... قدم طولى		٦٠	٩٠	١٢٠		....
طول الغرفة :	شمال أو مظلل	.... قدم طولى		١٠٠	١٤٠	١٨٠		....
(يستعمل طول واحد) الحائط المعرض للخارج	شمال شرق ، شمال غربى ، جنوب	.... قدم طولى	×	١٥٠	١٩٠	٢٣٠	=	....
(يستعمل الأطول عندما يكون أكثر من حائط معرض للخارج)	شرق ، (غرب) ، جنوب شرق ، جنوب غربى	٠٠٢٠ قدم طولى		(١٨٠)	٢٣٠	٢٨٠		٣٦٠٠
الحائط الداخلى (يستعمل عند ما تكون أقصر الحوائط غير معرضة للخارج)		.... قدم طولى		٦٠	٩٠	١٢٠		....
عرض الغرفة	شمال أو مظلل	.... قدم طولى		١٠٠	١٤٠	١٨٠		....
(يستعمل طول واحد) الحائط المعرض للخارج	شمال شرق ، شمال غربى ، (جنوب)	٠٠١٢ قدم طولى	×	(١٥٠)	١٩٠	٢٣٠	=	١٨٠٠
(يستعمل الطول القصير عند ما يكون أكثر من حائط معرض للخارج)	شرق ، غرب ، ، جنوب شرق ، جنوب غربى	.... قدم طولى		١٨٠	٢٣٠	٢٨٠		....
مساحة الغرفة — سقف غير معزول	بدروم أسفل الغرفة	.... قدم مربع		٢٠	٢٥	٣٠		....
	(مكان مشغول أسفل الغرفة)	٠٢٤٠ قدم مربع		(٢٥)	٣٠	٣٥		٦٠٠٠
سقف معزول أو مكان مشغول أعلى الغرفة	بدروم أسفل الغرفة	.... قدم مربع	×	١٠	١٣	١٦	=	....
	مكان مشغول أعلى الغرفة	.... قدم مربع		١٣	١٦	٢٠		....
		مجموع وحدات التبريد						١١٤٠٠

وعلى هذا الأساس يختار جهاز تكييف هواء لا تقل سعة تبريده عن ١١٤٠٠ و . ح . ب/الساعة .

مقايسة رقم (٦) حساب حمل التبريد الخاص بالمكاتب والمحلات التجارية

غرفة أبعادها كما هو مبين فى الرسم
السقف من النوع الهرمى .
النوافذ مجهزة بحصائر داخلية .
الأرضية فوق الأرض مباشرة .
نوع المبانى (بناء ثقيل).
يوجد قبو مفتوح باستمرار على مكان غير مكيف .
عدد الأشخاص بها= ٢.
لا توجد إضاءة كهربائية أثناء النهار.
والمطلوب إيجاد سعة تبريد تكييف الهواء الذى يلزم لهذه الغرفة.



(٢) جدول حساب حمل التبريد الخاص بالمكاتب والمحلات التجارية .

الاسم : مثال رقم ٢ ..... التاريخ .....
العنوان ..... التليفون : .....
نوع الغرفة ..... حساب حمل التبريد تم بمعرفة : .....

البند الخاص بـ	الكمية		المعامل: درجة حرارة الخارج الجافة °٩٥	°١٠٠	°١٠٥		وحدات التبريد
١ – النوافذ المعرضة للشمس (تستعمل الواجهة ذات أكبر وحدات تبريد)	شرق ، جنوب شرق ، جنوب	٠٠٠٠ قدم مربع	٤٥	٥٥	٦٥	=	٠٠٠٠
	جنوب غربى	٠٠٠٠ قدم مربع	٦٥	٧٥	٨٥	=	٠٠٠٠
	غرب	٣٠ قدم مربع	(١٠٠)	١١٥	١٣٠	=	٣٠٠
	شمال غربى	٠٠٠٠ قدم مربع	٥٥	٤٥	٥٥	=	٠٠٠٠
٢ – نوافذ ناحية الشمال أو معرضة للظل (تضاف جميع النوافذ غير المذكورة فى البند) (١)		٩٠ قدم مربع	(١٥)	٢٥	٣٥	=	١٣٥٠
٣ – الحوائط (تستعمل نفس الواجهة التى استعملت فى البند (١))	ا – بناء خفيف ، معرض للشمس	٠٠٠٠ قدم طولى	٩٠	١٠٠	١١٠	=	٠٠٠٠
	ب – بناء ثقيل ، معرض للشمس	١٣ قدم طولى	(٥٠)	٦٠	٧٠	=	٦٠٠
	جـ – حوائط تقع فى الظل أو قطاعات غير محسوبة بالبند (ب) أو (أ)	٤٤ قدم طولى	(٣٠)	٤٠	٥٠	=	١٣٢٠
٤ – السقف أو الجمالون (يستعمل واحد فقط)	جمالون غير معزول	٠٠٠٠ قدم مربع	١٦	٢٠	٢٤	=	٠٠٠٠
	جمالون معزول بمادة عازلة تخانة بوصة أو أكثر	٠٠٠٠ قدم مربع	٧	٨	٩	=	٠٠٠٠
	سقف أعلاه مكان مشغول	٠٠٠٠ قدم مربع	٣	٥	٧	=	٠٠٠٠
	سقف هرمى	١٩٢ قدم مربع	(١٠)	١٣	١٥	=	١٩٢٠
٥ – الأرضية	لا تحتسب الأرضية الموجودة فوق الأرض مباشرة أو بدروم غير ساخن	٠٠٠٠ قدم مربع	٣	٥	٧	=	٠٠٠٠

٦ – الأشخاص والتهوية – عدد الأشخاص	٢	×	٩٠٠	= ١٨٠٠
٧ – الإضاء والأجهزة الكهربائية المستعملة	٠٠٠٠٠٠٠ وات	×	٣,٤	= ٠٠٠٠٠٠٠
– أبواب أو قبو مفتوح باستمرار على مكان غير مكيف الهواء	٥ قدم طولى	×	٣٠٠	= ١٥٠٠
مجموع وحدات التبريد : و ح . ب / الساعة				= ١١٤٩٠

وعلى هذا الأساس يختار جهاز تكييف هواء سعة تبريده لا تقل عن ١١٤٩٠ و . ح . ب / الساعة .

٢- الطريقة التقريبية لحساب الحمل الحرارى للغرف والمكاتب:

سعة وحدة التبريد لغرف التبريد: هى قدرة الوحدة على إزالة الحرارة من الغرفة المركبة بها .
وعادة تقاس هذه السعة بالوحدات الحرارية البريطانية / الساعة (و. ح . ب/ الساعة) B.T.U/h.
وتحدد سعة وحدة الغرفة على أساس حالات التشغيل الآتية:

- درجة الحرارة الداخلية للغرفة:

(٢٨° ف جافة (-٢°م) ، ٢٥° ف (-٤ °م) رطبه

- درجة حرارة الهواء الخارجى :

(٩٥° ف جافة (٣٥°م) ، ٧٥° ف (٢٣م) رطبه

علما بان : د م = $\frac{٥}{٩}$ (د ف – ٣٢) ، متر = $\frac{\text{قدم} \times ٣,٥}{١٠٠٠}$	

ومن الطبيعى أن قدرة الوحدة تتوقف على الحمل الحرارى الموجود داخل الغرفة

<u>البيانات المطلوبة قبل حساب حمل التبريد لإختيار جهاز التكييف المناسب</u>

قبل حساب حمل التبريد يجب أخذ بيانات كاملة عن الغرفة أو المكان الذى سيركب به الجهاز كما يلى:

١. طول الغرفة - عرضها - ارتفاعها .
٢. موضع النوافذ بالنسبة للغرفة ومساحتها .
٣. إتجاه الحوائط والنوافذ المعرضة للخارج .
٤. نوع بناء الحوائط .
٥. هل الحوائط أو النوافذ المعرضة للخارج تظلها مبانى مجاورة أو أشجار ؟
٦. إذا كانت أرضية الغرفة فوق الأرض مباشرة أو فوق بدروم أو مكان مشغول .
٧. هل السقف أسفل فراغ هرمى أو أسفل طابق آخر مشغول ؟
٨. كم عدد الأشخاص الذين سيشغلون الغرفة .
٩. ما هى الأجهزة الكهربائية التى ستستعمل أثناء تشغيل أجهزة التبريد وقوتها بالوات .
١٠. الإحتياجات الواجب توافرها لتوصيل التيار الكهربائى المناسب عند مكان تركيب الجهاز.
١١. يتم عمل رسم مبسط لشكل النافذة التى سيركب بها الجهاز.

خطوات حساب الحمل الحرارى الكلى لغرفة أو مكتب بالطريقة التقريبية:

لحساب الحمل الحرارى الكلى لغرفة أو مكتب يتم حساب الأتى:

حمل التبريد المتوسط = مساحة الغرفة بالمتر المربع × ٤,٣ و . ح . ب / ساعة .

أو حمل التبريد المتوسط = حجم الغرفة بالمتر المكعب × ١٧,٧ و . ح . ب / ساعة .

- إذا كانت هذه الغرفة تستعمل طوال النهار ولها حائط يواجه إتجاه الشرق ومعرض للشمس :

الحمل الحرارى = الحمل المتوسط × ١,١ و . ح . ب / ساعة

- إذا كان للغرفة حائط معرض للشمس ويواجه إتجاه الجنوب:

الحمل الحرارى = الحمل المتوسط × ١,٢ و . ح . ب / ساعة

- إذا كان للغرفة حائط معرض للشمس ويواجهه إتجاه الغرب:

الحمل الحرارى = الحمل المتوسط × ١,٤ و . ح . ب / ساعة

- يضاف للحمل الحرارى للغرفة حمل الإضاءة

حمل الإضاءة = قدرة وحدات الإضاءة بالوات × ٣,٤ و . ح . ب / ساعة

- يضاف حمل الأشخاص الذين يشغلون الغرفة أطول فترة ممكنة

الحمل الحرارى للأشخاص = عدد الأشخاص × ٢٥٠ و . ح . ب / ساعة

- يضاف حمل الأجهزة والمعدات الكهربية التى يكثر إستعمالها بالغرفة

حمل الأجهزة الكهربية = قدرة الأجهزة بالوات × ٣,٤ و . ح . ب / ساعة

علما بأن :

طن التبريد = ١٢٠٠٠ و . ح . ب / ساعة

الكيلو وات = ٣٤١٢ و . ح . ب / ساعة (تقريباً)

الكيلو وات = ١,٣٤ حصان

مقايسة رقم (٧) : مقايسة تقدير الحمل الحرارى لغرفة أو مكتب بالطريقة التقريبية

غرفة كبيرة تستخدم كمكتب هندسى للمقاولات أبعادها ١٠×١٠×٣,٥ متر ، أحد حوائطها معرض للشمس ويواجه إتجاه الغرب ويشغل هذه الغرفة بصفة شبه دائمة ٦ أفراد، وتضاء بعدد ١٥ لمبة فلورسنت قدرة كل منها ١٢٠ وات ، وبها ٣ أجهزة كومبيوتر قدرة الجهاز ٥٠٠ وات .

أوجد قدرة جهاز التكييف اللازم لهذه الغرفة .

الحل :

١- الحمل المتوسط = ١٠×١٠×٣,٥×١٧,٧ = ٦١٩٥ و . ح . ب / ساعة .

٢- الغرفة بها حائط يواجه اتجاه الغرب .

إذن الحمل الحرارى للمكتب = ٦١٩٥ × ١,٤ = ٨٦٧٣ و . ح . ب / ساعة .

٣- الحمل الحرارى للأشخاص = ٦ × ٢٥٠ = ١٥٠٠ و . ح . ب / ساعة .

٤- الحمل الحرارى للإضاءة = ١٥ × ١٢٠ × ٣,٤ = ٦١٢٠ و . ح . ب / ساعة .

٥- الحمل الحرارى لأجهزة الكومبيوتر = ٣ × ٥٠٠ × ٣,٤ = ٥١٠٠ و.ح.ب/ ساعة .

٦- الحمل الحرارى الكلى للغرفة = ٨٦٧٣ + ١٥٠٠ + ٦١٢٠ + ٥١٠٠= ٢١٣٩٣ و . ح . ب / ساعة

إذن قدرة الأجهزة = $\frac{٢١٣٩٣}{١٢٠٠٠}$ = ١,٧ طن تبريد .

وحيث ان أجهزة التكييف الشائعة ذات سعة تبريد تتراوح مابين (٥٥٠٠ الي ٢٧٠٠٠ و.ح.ب/ ساعة) , بقدرات تتراوح مابين (١ ، ١,٥، ٢ ، ٢,٥ ، ٣ حصان)

فالغرفة تحتاج إلى عدد ٢ جهاز بسعة تبريد ١٣٥٠٠ و.ح.ب/ ساعة , أو بقدرة ١,٥ حصان

خطوات حساب الحمل الحرارى الكلى لغرف التبريد بالطريقة التقريبية:

لحساب الحمل الحرارى الكلى لغرف التبريد يتم حساب الأتى:

١- الحمل الحرارى الناتج عن التسرب خلال الجدران والسقف والأرضية.

٢- الحمل الحرارى الناتج عن التسرب أثناء فتح الأبواب.

٣- الحمل الحرارى الناتج عن المنتجات داخل غرفة التبريد.

٤- الحمل الحرارى المتنوع ويشمل الإضاءة والمحركات والعمال والرافعات أثناء دخول وخروج المنتجات المحفوظة والحرارة الناتحة عن إذابة الفروست.

٥- ويضاف الى مجموع البنود السابقة ١٠% كعامل أمان للتصميم.

١- الحرارة المتسربة خلال الجدران والسقف والارضية:

أ- الجدران:

الطول x الارتفاع x ٢ x فرق درجة الحرارة بين الغرفة والخارج x معامل انتقال الحرارة.

العرض x الارتفاع x ٢ x فرق درجة الحرارة بين الغرفة والخارج x معامل انتقال الحرارة.

ب - السقف:

الطول x العرض x فرق درجات الحرارة بين الغرفة والخارج x معامل انتقال الحرارة

ج- الأرضية:

الطول x العرض x فرق درجات الحرارة بين الغرفة والخارج فى معامل انتقال الحرارة

وبجمع أ ، ب ، ج نحصل على الحرارة المتسربة خلال الجدران والسقف والأرضية.

٢- الحرارة المتسربة الناتجة عن فتح الأبواب:

حجم الغرفة الداخلى x عدد مرات تغيير الهواء/يوم x معامل الإستخدام x معامل تبريد القدم المكعب.

٣- الحمل الحرارى الناتج عن المنتجات داخل غرفة التبريد:

= وزن المنتج بالرطل x الحرارة النوعية للمنتج x فرق درجات الحرارة بين الدخول والخروج للمنتج + حمل التنفس

٤- الحرارة المتنوعة:

أ – حرارة الأضاءة = مجمع الإضاءة بالوات x عدد ساعات التشغيل x ٣,٤١

ب- حرارة المحركات= قدرة المحرك بالحصان x عدد ساعات التشغيل x الحرارة لكل حصان

ج- حرارة العمال = عدد العمال x عدد ساعات العمل x الحرارة لكل عامل

يجمع ١ ،٢ ، ٣ ، ٤ ويضاف ١٠% كعامل أمان وبذلك نحصل على الحمل الحرارى لمدة ٢٤ ساعة يقسم الناتج على عدد ساعات تشغيل الضاغط المطلوبة (عادة تكون ١٦ ساعة للتبريد أو ١٨ للتجميد)

ويكون الناتج قدرة الضاغط بوحدات حرارية بريطانية (وح ب) / ساعة (BTU\ H)

مقايسة رقم (٨): حساب الحمل الحرارى بالطريقة التقريبية

إحسب الحمل الحرارى الكلى لغرفة تبريد للخضروات الطازجة التالية إذا علمت أن:

- طولها = ٤٠ قدم ، وعرضها =١٠ قدم ، وارتفاعها =٨ قدم ، معامل انتقال الحرارة = ١,٩
- الجدران معزولة بالصوف الزجاجى سمك ٤ بوصات.
- مساحة الارضية = ٤٠٠ قدم^{٢} .
- حجم الغرفة الداخلى (بدون حوائط) = ٣٠٠٠ قدم^{٣} ، ويتم تغيير الهواء ٥ مرات /يوم .
- معامل الإستخدام =٢,٩ ، معامل تبريد / القدم المكعب = ٢,٧٥ .
- درجة الحرارة الخارجية = ١٠٠ ف ، و الرطوبة نسبية = ٥٠ % .
- درجة حرارة الأرضية = ٥٥ ف.
- درجة حرارة الغرفة =٤٠ ف.
- محرك مروحة المبخر = ٠,٥ حصان وتدور باستمرار ، ٤٢٥٠ وح ب/ حصان/ ساعة.
- الإضاءة عدد ٢ لمبة كل منها ١٠٠ وات وتستعمل ١٢ ساعة.
- عدد الأشخاص ٢ عامل لمدة ٢ ساعة يوميا ، وحمل الحرارة لكلا منهما ٨٤٠ و ح ب.
- الغرفة تحفظ ١٥٠٠ رطل من الخضار المشكل حرارتة النوعية = ٠,٩ و ح ب / رطل .
- حرارة التنفس = ٢٠٠٠ و ح ب /٢٤ ساعة.

الحـــــــــل:

أ- الجدران

= الطول x الارتفاع x ٢ x فرق درجة الحرارة بين الغرفة والخارج x معامل انتقال الحرارة.

= ٤٠ × ٨ × ٢ × (١٠٠-٤٠) × ١,٩

= ٦٤٠ قدم^{٣} × ٦٠ × ١,٩ =٧٢٩٦٠ و ح ب /يوم

= العرض x الارتفاع x ٢ x فرق درجة الحرارة بين الغرفة والخارج x معامل انتقال الحرارة.

= ١٠ × ٨ × ٢ × (١٠٠-٤٠) × ١,٩

= ١٦٠ قدم^{٣} × ٦٠ × ١,٩ =١٨٢٤٠ و ح ب /يوم

مجموع الحرارة المتسربة من الجدران = ٧٢٩٦٠ + ١٨٢٤٠ = ٩١٢٠٠ و ح ب /يوم

ب - السقف:

= الطول x العرض x فرق درجات الحرارة بين الغرفة والخارج x معامل انتقال الحرارة.

= ٤٠×١٠ × (١٠٠-٤٠) × ١,٩

= ٤٠٠ × ٦٠ × ١,٩ = ٤٥٦٠٠ و ح ب /يوم

ج- الأرضية:

= الطول x العرض x فرق درجات الحرارة بين الغرفة والخارج x معامل انتقال الحرارة.

= ٤٠×١٠ × (٤٠-٥٥) × ١,٩

= ٤٠٠ × ١٥ ×١,٩ = ١١٤٠٠ وح ب/يوم

مجموع الحرارة المتسربة من الجدران والسقف والأرضية =٩١٢٠٠+٤٥٦٠٠+١١٤٠٠

= ١٤٨٢٠٠ و ح ب /يوم

٢- الحرارة المتسربة الناتجة عن فتح الابواب:
= حجم الغرفة الداخلى x عدد مرات تغيير الهواء x معامل الإستخدام x معامل تبريد لكل قدم المكعب.
= ٣٠٠٠ x ٥ x ٢,٩ x ٢,٧٥
= ١١٩٦٢٥ و ح ب/يوم

٣- حمل المنتجات:
= (وزن المنتج بالرطل x الحرارة النوعية للمنتج x فرق درجات الحرارة بين الدخول والخروج للمنتج) + حمل التنفس
= ١٥٠٠ x ٠,٩ x (١٠٠ - ٤٠) + ٢٠٠٠
= ٨١٠٠٠ + ٢٠٠٠ = ٨٣٠٠٠ و ح ب /يوم

٤- حرارة المتنوعات:
حمل الأضاءة = ٢ لمبة x١٠٠ وات x ١٢ ساعة x٣,٤١ = ٨١٨٤ وح ب/يوم
حمل المحرك = ٠,٥ حصان x ٤٢٥٠ وات x٢٤ ساعة = ٥١٠٠٠ وح ب/يوم
حمل العمال = ٢ عامل x ٢ ساعة عمل x٨٤٠ وح ب / عامل واحد = ٣٣٦٠ وح ب/يوم
_____ _____
مجموع حمل المتنوعات = ٦٢٥٤٤ وح ب/يوم

مجموع الحمل الكلى:
حمل الجدران والسقف والارضية = ١٤٨٢٠٠ و ح ب /يوم
حمل فتح الابواب = ١١٩٦٢٥ و ح ب /يوم
حمل المنتج = ٨٣٠٠٠ و ح ب /يوم
حمل المتنوعات = ٦٢٥٤٤ و ح ب /يوم
_____
المجموع = ٤١٣٣٦٩ وح ب /يوم ، يضاف ١٠% كعامل أمان للتصميم.
= ٤١٣٣٦٩ + (٤١٣٣٦٩ x ١٠ %)
_____
المجموع الكلى = ٤٥٤٧٠٦ وح ب /يوم
يقسم الناتج على عدد ساعات تشغيل الضاغط المطلوبة (عادة تكون ١٦ ساعة لأنها تبريد)
٤٥٤٧٠٦ ÷ ١٦ = ٢٨٤١٩ وح ب / ساعة تقريبا
ولحسابه القدرة بالحصان
- الكيلو وات = ٣٤١٢ و . ح . ب / ساعة
- كيلو وات = ١,٣٤ حصان

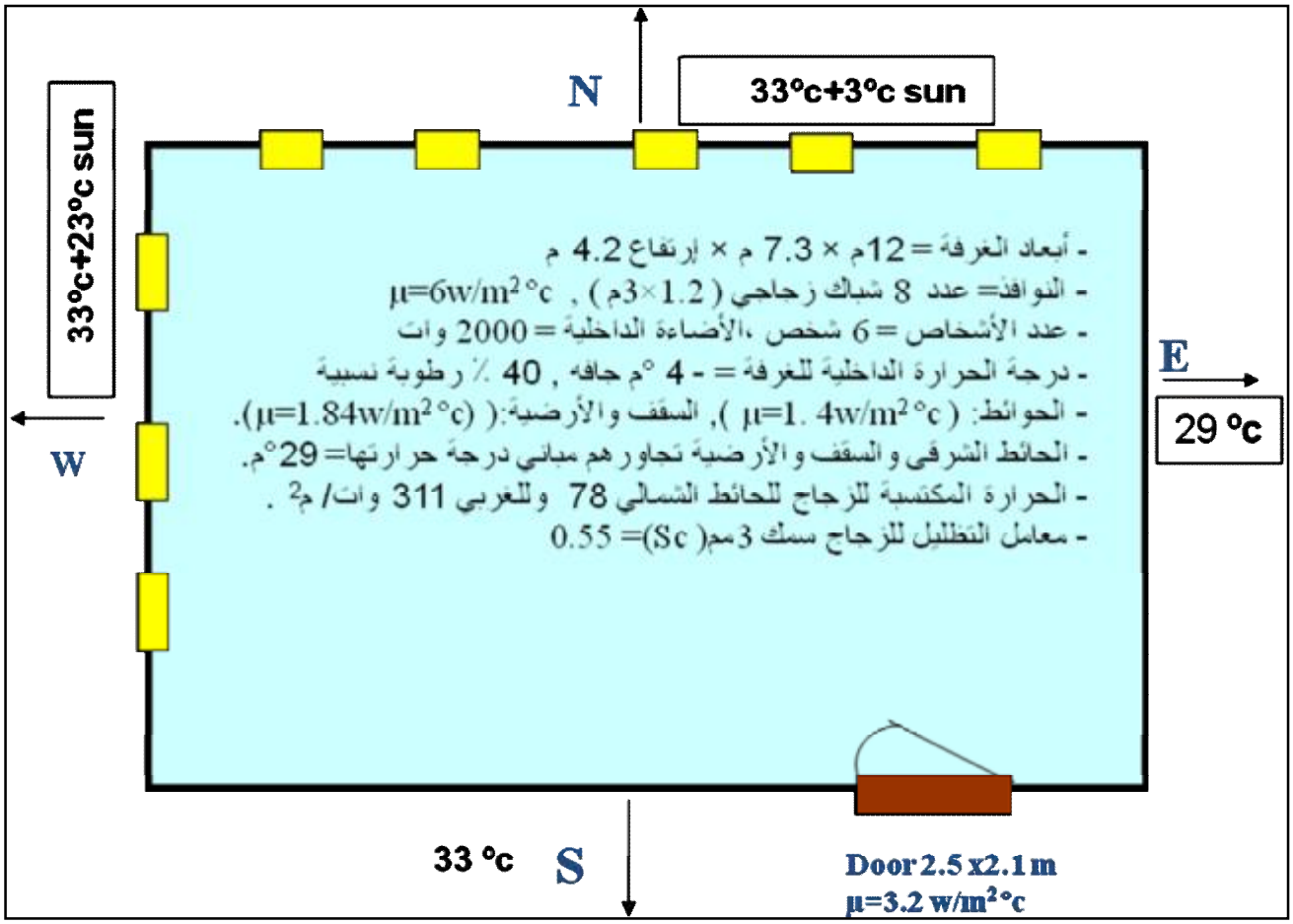
الحصان = ٢٥٤٥ و . ح . ب / ساعة تقريبا
= ٢٨٤١٩ ÷ ٢٥٤٥ = ١١,١٦ حصان

اذا تحتاج هذه الغرفة الى ضاغط قدرته حوالى ٢٨٤١٩ وح ب /ساعة أو ١١,١٦ حصان

٣- الطريقة الدقيقة (بإستخدام المعادلات والقوانين)

مقايسة (٩) : الطريقة الدقيقة لحساب الحمل الحرارى للغرف والمكاتب والصالات.

الشكل التالى يوضح مخطط للأبعاد والمعلومات الفنية لصالة محاضرات، إحسب الأحمال الحرارية لها، وقدرة الوحدات المناسبة لتكييفها.



ملحوظة:

جميع القوانين والمعادلات التالية تم شرحها والتدريب عليها بالباب السابع :الأحمال الحرارية وحساباتها.

الحل:

الحمل الحراري	$Q = \mu A \Delta t$

حيث:

μ = w/m2 ^oc معامل انتقال الحرارة

A = Area m2 المساحة

Δt = ^oc (فرق درجتى الحرارة الخارجية والداخلية)

(١) حساب الحمل الحرارى للحوائط

Area A_N= (12 x 4.2) – 5(1.2 x 3) = 32.4 m^2

A_E = (7.2 x 4.2) = 30.24 m^2

A_W =(7.2 x 4.2) – 3(1.2 x 3) =19.44 m^2

A_S = (12 x 4.2) – (1.5 x 2.5) = 47.25 m^2

$Q_W = \mu_W A_W \Delta t$ watt

Q_{WN} = 1.4 x 30.4 x (33 – (-4)) = 1574.72 watt

Q_{WE} = 1.4 x 19.24 x (29 - (-4)) = 888.89 "

Q_{Ww} = 1.4 x 19.44 x (33 - (-4)) = 1006.99 "

Q_{Ws} = 1.4 x 47.25 x (33 -(-4)) = 2447.55 "

QW_{tot} = 5918.15 Watt

(٢) حساب الحمل الحرارى للسقف

A_R = 12 x 7.2 =86.4 m^2

$Q_R = \mu_R A_R \Delta t$ = 1.84 x 86.4 x (29 - (-4)) = =5246.21 Watt

(٣) حساب الحمل الحرارى للأرضية

A_F = 12 x 7.2 =86.4 m^2

$Q_F = \mu_F A_F \Delta t$ = 1.84 x 86.4 x (29 - (-4))

= 5246.21 Watt

(٤) حساب الحمل الحرارى للباب الخشبى

A_d = 2.5 x 2.1 =5.25 m^2

$Q_d = \mu_d A_d \Delta t$ = 3.2 x 5.25 x (33 - (-4))

= 621.6 Watt

(٥) حساب الحمل الحرارى للزجاج

Ag_N = 5(1.2 x 3) =18 m^2

$Qg_N = \mu g\ Ag_N \Delta t\ g_N$ = 6 x 18 x (33 - (-4)) = 3996 Watt

Ag_w = 3(1.2 x 3) =10.8 m2

$Qg_w = \mu g\ Ag_w \Delta t\ g_w$ = 6 x 10.8 x (33 - (-4)) =2397.6 Watt

Qg tot = 3996 +2397.6 = 6393.6 Watt

(٦) حساب الحمل الحراري الناتج من تأثيرالشمس

Q sun =Σ (μ A Δt sun) wall + Σ (Ax HG) glass x Sc Watt

حيث Sc : هو معامل التظليل للزجاج ,

HG (W/m^2): هي كمية الحرارة المكتسبة للزجاج ويتم الحصول عليهما من الجداول الخاصة .

$Qsun_N$ = (1.4 x 32.4 x 3) + (5 x (1.2 x 3)x 78 x 0.55

=136.08 + 772 = 908.08 w

$Qsun_w$= (1.4 x 19.44 x 23) + (3 x (1.2 x 3)x 311 x 0.55

= 652.96 + 1847.34=2500.30 w

$Qsun_{total}$ = 908.08 + 2500.30 = 3408.38 Watt

(٧) حساب حرارة التهوية

$Q_{V\,tot}$= m_V (h_O - h_i)

= n (L/S/PERSON) × 10- 3 × 1/V0 (h_o - h_i) × 103 Watt

حيث $Q_{V\,tot}$: الحرارة المحسوسة المصاحبة للتهوية

m_V: معدل سريان هواء التهوية

n: عدد الأشخاص , (S/PERSON): معدل التهوية لكل شخص، L:الطاقة الكامنة لتبخيرالهواء

من الخريطة السيكرومترية نجد أن:

$$h_O = 85 \frac{kJ}{Kg}, \quad h_i = 48 \frac{kJ}{kg}, \quad v_o = 0.895\ m^3/kg$$

من الجداول: ---.(L/S/PERSON) = 14 lit/sec

$$QVTOT = 10 \times 14 \times 10\text{-}3 \times \frac{1}{0.895} (85 - 48) \times 10^3$$

= 5787.7 Watt

٨- حساب حرارة التسريب

$Q_L = \Sigma L\ (L/s/m) \times 10^{-3} \times 1/vo\ (ho - hi) \times 10^3$

Σ_L = 8 (1.2 + 3) × 2+2 (1.5 + 2.1) = 74.4 m

$QL = 74.4 \times 0.82 \times 10^{-3} \times 1/0.895\ (85 + 48) \times 10^3 = 2522.1$ Watt

وحيث أن حرارة التهوية أكبر من حرارة التسريب ، نأخذ فى الأعتبار حرارة التهوية فقط .

٩- حرارة الأشخاص

Qs.p : معدل الحرارة المحسوسة التى يعطيها كل شخص

QL.p : معدل الحرارة الكامنة التى يعطيها كل شخص

$Q_P = \Sigma Qs.p + \Sigma QL.p$

$= n Qs.p + n QL.p$

من الجداول نجد أنه بالنسبة للشخص الجالس مع عمل خفيف

Qs.p = 72 W QL.p = 45 W

Qp = 10 (72 + 45) = 1170 Watt

١٠- الأضاءة

QL = 2000 Watt

١١- حمل المعدات: لا يوجد

اذاً الحمل الحرارى الكلى = مجموع الأحمال الحرارية من (١) إلى (١١)

Q_{TOT}= 5918.15 +5246.21 + 5246.21 + 621.6 + 6393.6 + 3408.38 + 5787.7 +2522.1+ 1170 + 2000

= 38313.95 Watt

= 38.3 K W تقريباً

إذا الغرفة تحتاج الى وحدة أو وحدات تبريد تقدر قدرتها بحوالى: 38.3 k W

أو حوالى 43,19 hp (حصان).

ملاحق هامة

Important Appendices

ملاحق هامة

١- قاموس المصطلحات الفنية للتبريد وتكييف الهواء

المصطلح الفنى	التعريف	المصطلح الفنى	التعريف
Refrigerant **وسيط تبريد**	أى مادة تقوم بدور عامل التبريد عن طريق امتصاص الحرارة من جسم آخر	**Semi hermitic Compressor** **ضاغط نصف مغلق**	ضاغط يشبه ضاغط محكم الغلق ، إلاّ غلافه الخارجي غير ملحوم بل مربوط بالبراغي والصواميل ، لإجراء الصيانة
Primary refrigerant **وسيط تبريد أولى**	المائع الذي ينتج درجة الحرارة المنخفضة عن طريق امتصاص الحرارة أثناء التبخر عند ضغط منخفض ، وطرد الحرارة أثناء التكثف عند ضغط عال	**Open Compressor** **ضاغط مفتوح**	ضاغط يكون عمود دورانه خارج علبة الضاغط ، ويلزمه جوانة لمنع وسيط التبريد من التدّرب و لعزل حيّز وسيط التبريد عن الجو ، ويحتاج إلى رقابة وإشراف على تشغيله
Secondary refrigerant **وسيط تبريد ثانوي**	اي وسيط سائل يستخدم في مجموعة تبريد ثانوية بغرض نقل الحرارة من نقطة الى أخرى	**Refrigerant flow control** **التحكم بجريان وسيط التبريد**	ويكون عن طريق صمامات التحكم مثل صمام التمدد اليدوي أو الآلي
Liquid refrigerant **وسيط تبريد سائل**	وسيط تبريد متبخر تم تبريده الى درجة حرارة التشبع ، وبذلك تكثّف وتحوّل الى سائل	**Refrigerant piping** **أنابيب وسيط التبريد**	شبكة أنابيب عائدة لوسيط التبريد تصنع من النحاس Copper أو النحاس الأصفر Brass
Evaporating refrigerant **وسيط تبريد متبخر**	وسيط تبريد حدث له تغيّر في الحالة من سائل الى بخار في مبخر وحدة التبريد.	**Refrigerant effect** **التأثير التبريدي**	كمية الحرارة التي يمتصها كل ١ كجم من وسيط التبريد عندما يتبخر من المكان المراد تبريده
Hydrocarbon refrigerant **وسيط تبريد هيدروكربوني**	وسيط تبريد من السلسلة البرافينية او الاوليفينية التي تتركب من اتحادات مختلفة لعنصري الهيدروجين والكربون. (البوتان , الميتان	**Refrigerant cylinder** **اسطوانة وسيط التبريد**	وعاء اسطواني مصنوع من الصلب ، يستعمل لتخزين ونقل وسيط التبريد
Compressor **ضاغط**	مكون أساسي في مجموعة التبريد ذات الإنضغاط بالبخار. وظيفته سحب وسيط التبريد المتبخر عند ضغط منخفض نسبياً من المبخر، وضغطه، ثم تصريفه الى المكثف	**Compressor lubricating oils: زيوت تزييت الضاغط**	زيت معد خصيصاً للضاغط ، لانه يلامس وسيط التبريد ، وأهم صفاته: الاستقرار الكيميائي ،
Reciprocating Compressor **ضاغط مكبسي (ترددي)**	يحتوي على مكبس piston يتحرك في اسطوانة حركة مستقيمة متناوبة في اتجاهين منعاكسين (للأعلى و للأسفل)، حيث أن الحركة تنتقل الى المكبس عن طريق عمود المرفق الذي يؤدي الى انجاز شوطي السحب والانضغاط بالاسطوانة المجهزة بصمام سحب وصمام طرد	**Latent heat:** **الحرارة الكامنة**	كمية الحرارة اللازمة لأن تمتصها أو تطردها وحدة الكتلة لأي مادة كي تغير حالتها (اي كي تنصهر أو تتصلب أو تتجمد أو تتبخر أو تتكثف).
		Specific heat **الحرارة النوعية**	كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة ١ كجم من مادة ما درجة مئوية واحدة
Rotary Compressor **ضاغط دوّار**	عند تحرّك العضو الدوار حول الاسطوانة، فان نقطة تماسه، تمسح المحيط بجدار الاسطوانة، يدفع البخار بالكامل والمتواجد امام نقطة التماس باتجاه الريشة المنزلقة باتجاه فتحة الطرد، وفي هذه اللحظة وعندما تكون نقطة التماس قد عبرت فتحة السحب، فان دفعة جديدة من بخار وسيط التبريد تمر من المبخر الى الضاغط	**Sensible heat** **الحرارة المحسوسة**	الحرارة الناتجة عن تغير درجة حرارة مادة ما دون أن يطرأ تغير في حالتها
		Condensing unit **وحدة التكثيف**	مجموعة مؤلفة من ضاغط ومحركه الكهربائي وخط الغاز الساخن والمكثف والخزان المستقبل (عند وجوده)
Centrifugal Compressor **ضاغط نابذي (طرد مركزي)**	ويتألف من حلقات من الأعضاء الدوّارة يحدث الانضغاط نتيجة لدوران وسيط التبريد المتبخر بسرعة عالية، وتحت تأثير القوة النابذة يقذف وسيط التبريد الى جدار العضو الدوّار داخلاً الى القناة المخصصة	**Hermetic Compressor** **ضاغط محكم الغلق**	ضاغط يكون فيه المحرك الكهربائي داخل غلاف الضاغط ، وتكون التجميعة بأكملها محكمة الغلق ، وتعزل حيّز وسيط التبريد عزلاً تامّاً عن الجو. ويشترط فيه أن يعمل عشرات السنين دون صيانة

تابع قاموس المصطلحات الفنية للتبريد وتكييف الهواء

المصطلح الفنى	التعريف	المصطلح الفنى	التعريف
Domestic refrigeration **التبريد المنزلي**	يختص التبريد المنزلي بالاجهزة المستعملة في البيوت مثل البرادات ، والمجمدات ، ويعتبر جزءاً هاما من صناعة التبريد	**Air conditioning** **تكييف الهواء**	يعني تكييف الهواء ، اما معالجة هواء المباني لجعله أكثر ملائمة لراحة وصحة الجسم البشري ، او لتوفير الجو الملائم لبعض العمليات الصناعية
Commercial refrigeration **التبريد التجاري**	يختص بتصميم وتركيب الاجهزة المستعملة في المطاعم ، والفنادق ، والمحلات التجارية ، والمؤسسات المختصة وبتخزين وتصنيع وتوزيع المواد سريعة التلف من مختلف الانواع	**Fans** **المراوح**	اجهزة لتحريك الهواء ورفع ضغطه ، ليستطيع الوصول الى مختلف الاماكن المكيّفة
Industrial refrigeration **التبريد الصناعي**	يختص بتصميم وتركيب وتشغيل الاجهزة المستعملة في معامل الجليد، ومعامل الالبان، والمصانع الكيميائية وتجهيزاته عادةً كبيرة	**Air sterilizers** **معقّمات الهواء**	اجهزة تستخدم في تعقيم هواء غرف العمليات وغرف المعالجة
Psychometric chart **مخطط الهواء الرطب (المخطط السايكرومتري)**	مخطط ، يعطي وبشكل تخطيطي ، خواص وصفات الهواء الرطب ، من اجل ١ كجم من الهواء الجاف مع العلم أنّ خواص وصفات الهواء الرطب هي :درجة الحرارة الجافة ، درجة الحرارة الرطبة ، نقطة الندى ، الرطوبة النوعية ، الرطوبة النسبية ، الحجم النوعي ، الانتالبي	**Rigid Insulant** **عازل صلب**	مادة عازلة صلبة تنتج على شكل بلاطات أو الواح بتشكيلة نظامية ، من حيث الطول والعرض والسماكة والكثافة لتلائم مختلف الاستخدامات ومن العوازل الصلبة المستخدمة في التبريد ، الفلين أو المطاط أو البلاستيك الرغوي
Dry bulb temperature **درجة الحرارة الجافة**	هي درجة حرارة الهواء الذي يسجلها اي مقياس لدرجة الحرارة	**Design Pressure:** **الضغط التصميمي**	أعظم (اقصى) ضغط تشغيل ، يمكن ان يعمل عليه جهاز ما ، وفقاً لحسابات المشروع
Relative humidity **الرطوبة النسبية**	هي نسبة الضغط الجزئي لبخار الماء (الموجود في الهواء) الى ضغط الاشباع لبخار الماء (عند نفس درجة الحرارة الجافة)	**Mixing damper** **معيّر للمزج**	معيّر يركب في أحد مجاري الهواء لتنظيم تدفق الهواء بنسبة معينة من غزارة اخرى ، بحيث يمتزجان معا بنسب محددة مسبقاً (يستخدم في تصميم دارات التكييف الصيفية والشتوية)
Drops separators **فاصل قطرات الماء**	جهاز يمنع انتقال قطرات الماء مع الهواء المكيف	**Ambient air** **(الهواء الخارجي)**	الهواء الغير مكيّف والذي يخيط بالمكان المكيف
Air dryers **اجهزة تجفيف الهواء**	اجهزة تقوم بتخفيض درجة حرارة الهواء الى اقل من درجة تكثيفه (بامراره على سطح بارد)	**Thermostatic control** **متحكّم ترموستاتي**	داة تحكّم ، تستجيب للتغيّرات في درجة الحرارة لموضع ما، ويتم تشغيله بواسطة وسيط حساس لهذا التغيّرالحراري
Filters: المصافي (الفلاتر)	اجهزة تقوم بتنقية الهواء ، وتختلف اشكالها حسب طبيعة الغبار وكميته	**Absolute temperature**	درجة الحرارة مقاسة من الصفر المطلق
Duct **مجرى**	مجرى ينقل من خلاله هواء التهوية ، او الهواء المكيف ، من والى مبنى ما	**Enthalpy** **الانتالبى**	الانتالبى يعبر عن المحتوى الحرارى (سخانة) المادة
Damper **معيّر**	صفيحة أو مجموعة صفائح تستعمل لتنظيم مقدار الهواء المتدفق في مجاري الهواء	**Adiabatic** **أدياباتي**	عملية حرارية تحدث دون اي تبادل للحرارة (ثابتة الحرارة)
Ceiling void **سقف مستعار**	حيز محصور بينه وبين سقف الغرفة ، يوضع من خلاله مجاري الهواء وفتحات السحب والارسال وأجهزة الانارة ،وغالباً مانستخدمه في الأماكن ذات السقف المرتفع (الصالات الكبيرة ، قاعات المسارح ،...)	**Centigrade** **مئوية**	مقياس لقياس درجة الحرارة ، يعتبر نقطة تجمد الماء بمثابة صفر درجة مئوية، العلاقة بين درجتى الحرارة المئوية والفهرنايتيّة C = 5/9 (F - 32)
Thermal capacity **السعة الحرارية**	كمية الحرارة اللازمة ، لرفع درجة حرارة مادة ما، درجة مئوية واحدة	**Load** **الحمل**	المقاومة التي يجب على آلة ما ، ان تتغلب عليها (overcome) ، ومنها حمل التبريد

UNITS AND CONVERSIONS

Table 1 Conversions to SI Units

Multiply	By	To Obtain
acre	0.4047	ha
atmosphere (standard)	*101.325	kPa
bar	*100	kPa
barrel (42 U.S. gal, petroleum)	159.0	L
	0.1590	m^3
Btu (International Table)	1.055	kJ
Btu/ft^2	11.36	kJ/m^2
Btu/ft^3	37.3	kJ/m^3
Btu/gal	279	kJ/m^3
$Btu \cdot ft/h \cdot ft^2 \cdot °F$	1.731	$W/(m \cdot K)$
$Btu \cdot in/h \cdot ft^2 \cdot °F$ (thermal conductivity, k)	0.1442	$W/(m \cdot K)$
Btu/h	0.2931	W
$Btu/h \cdot ft^2$	3.155	W/m^2
$Btu/h \cdot ft^2 \cdot °F$ (overall heat transfer coefficient, U)	5.678	$W/(m^2 \cdot K)$
Btu/lb	*2.326	kJ/kg
$Btu/lb \cdot °F$ (specific heat, c_p)	4.184	$kJ/(kg \cdot K)$
bushel	0.03524	m^3
calorie, gram	4.184	J
calorie, kilogram (kilocalorie)	4.184	kJ
centipoise (dynamic viscosity, μ)	*1.00	mPa·s
centistokes (kinematic viscosity, ν)	*1.00	mm^2/s
clo	0.155	$m^2 \cdot K/W$
$dyne/cm^2$	*0.100	Pa
EDR hot water (150 Btu/h)	44.0	W
EDR steam (240 Btu/h)	70.3	W
EER	0.293	COP
ft	*0.3048	m
	*304.8	mm
ft/min, fpm	*0.00508	m/s
ft/s, fps	*0.3048	m/s
ft of water	2.99	kPa
ft of water per 100 ft pipe	0.0981	kPa/m
ft^2	0.09290	m^2
$ft^2 \cdot h \cdot °F/Btu$ (thermal resistance, R)	0.176	$m^2 \cdot K/W$
ft^2/s (kinematic viscosity, ν)	92900	mm^2/s
ft^3	28.32	L
	0.02832	m^3
ft^3/min, cfm	0.4719	L/s
ft^3/s, cfs	28.32	L/s
$ft \cdot lb_f$ (torque or moment)	1.356	N·m
$ft \cdot lb_f$ (work)	1.356	J
$ft \cdot lb_f/lb$ (specific energy)	2.99	J/kg
$ft \cdot lb_f/min$ (power)	0.0226	W
footcandle	10.76	lx
gallon (U.S., *231 in^3)	3.7854	L
gph	1.05	mL/s
gpm	0.0631	L/s
gpm/ft^2	0.6791	$L/(s \cdot m^2)$
gpm/ton refrigeration	0.0179	mL/J
grain (1/7000 lb)	0.0648	g
gr/gal	17.1	g/m^3
gr/lb	0.143	g/kg
horsepower (boiler) (33 470 Btu/h)	9.81	kW
horsepower (550 $ft \cdot lb_f/s$)	0.7457	kW
inch	*25.4	mm
in. of mercury (60°F)	3.37	kPa
in. of water (60°F)	249	Pa
in/100 ft, thermal expansion	0.833	mm/m
$in \cdot lb_f$ (torque or moment)	113	mN·m

To Obtain	By	Divide

Multiply	By	To Obtain
in^2	645.2	mm^2
in^3 (volume)	16.4	mL
in^3/min (SCIM)	0.273	mL/s
in^3 (section modulus)	16390	mm^3
in^4 (section moment)	416 200	mm^4
km/h	0.2778	m/s
kWh	*3.60	MJ
kW/1000 cfm	2.12	kJ/m^3
kilopond (kg force)	9.81	N
kip (1000 lb_f)	4.45	kN
kip/in^2 (ksi)	6.895	MPa
litre	*0.001	m^3
met	58.15	W/m^2
micron (μm) of mercury (60°F)	133	mPa
mile	1.609	km
mile, nautical	*1.852	km
mph	1.609	km/h
	0.447	m/s
millibar	*0.100	kPa
mm of mercury (60°F)	0.133	kPa
mm of water (60°F)	9.80	Pa
ounce (mass, avoirdupois)	28.35	g
ounce (force or thrust)	0.278	N
ounce (liquid, U.S.)	29.6	mL
ounce inch (torque, moment)	7.06	mN·m
ounce (avoirdupois) per gallon	7.49	kg/m^3
perm (permeance)	57.45	$ng/(s \cdot m^2 \cdot Pa)$
perm inch (permeability)	1.46	$ng/(s \cdot m \cdot Pa)$
pint (liquid, U.S.)	473	mL
pound		
lb (mass)	0.4536	kg
	453.6	g
lb_f (force or thrust)	4.448	N
lb/ft (uniform load)	1.49	kg/m
$lb_m/ft \cdot h$ (dynamic viscosity, μ)	0.4134	mPa·s
$lb_m/ft \cdot s$ (dynamic viscosity, μ)	1490	mPa·s
$lb_f \cdot s/ft^2$ (dynamic viscosity, μ)	47.88	Pa·s
lb/h	0.126	g/s
lb/min	0.00756	kg/s
lb/h [steam at 212°F (100°C)]	0.2843	kW
lb_f/ft^2	47.9	Pa
lb/ft^2	4.88	kg/m^2
lb/ft^3 (density, ρ)	16.0	kg/m^3
lb/gallon	120	kg/m^3
ppm (by mass)	*1.00	mg/kg
psi	6.895	kPa
quad (10^{15} Btu)	1.055	EJ
quart (liquid, U.S.)	0.9463	L
square (100 ft^2)	9.29	m^2
tablespoon (approximately)	15	mL
teaspoon (approximately)	5	mL
therm (U.S.)	105.5	MJ
ton, long (2240 lb)	1.016	Mg
ton, short (2000 lb)	0.907	Mg; t (tonne)
ton, refrigeration (12 000 Btu/h)	3.517	kW
torr (1 mm Hg at 0°C)	133	Pa
watt per square foot	10.76	W/m^2
yd	*0.9144	m
yd^2	0.8361	m^2
yd^3	0.7646	m^3

To Obtain	By	Divide

The preparation of this chapter is assigned to TC 1.6, Terminology.

*Conversion factor is exact.

Notes: Units are U.S. values unless noted otherwise.
Litre is a special name for the cubic decimetre. 1 L = 1 dm^3 and 1 mL = 1 cm^3.

Table 2 Conversion Factors

Pressure psi	= in. of water (60°F)	= in. Hg (32°F)	= atmosphere	= mm Hg (32°F)	= bar	= kgf/cm^2	= pascal
1	= 27.708	= 2.0360	= 0.068046	= 51.715	= 0.068948	= 0.07030696	= 6894.8
0.036091	1	0.073483	2.4559×10^{-3}	1.8665	2.4884×10^{-3}	2.537×10^{-3}	248.84
0.491154	13.609	1	0.033421	25.400	0.033864	0.034532	3386.4
14.6960	407.19	29.921	1	760.0	1.01325*	1.03323	1.01325×10^{5}*
0.0193368	0.53578	0.03937	1.31579×10^{-3}	1	1.3332×10^{-3}	1.3595×10^{-3}	133.32
14.5038	401.86	29.530	0.98692	750.062	1	1.01972*	10^{5}*
14.223	394.1	28.959	0.96784	735.559	0.980665*	1	9.80665×10^{4}*
1.45038×10^{-4}	4.0186×10^{-3}	2.953×10^{-4}	9.8692×10^{-6}	7.50×10^{-3}	10^{-5}*	1.01972×10^{-5}*	1

Mass	lb (avoir.)	= grain	= ounce (avoir.)	= kg
	1	= 7000*	= 16*	= 0.45359
	1.4286×10^{-4}	1	2.2857×10^{-3}	6.4800×10^{-5}
	0.06250	437.5*	1	0.028350
	2.20462	1.5432×10^{4}	35.274	1

Volume	cubic inch	= cubic foot	= gallon	= litre	= cubic metre (m^3)
	1	= 5.787×10^{-4}	= 4.329×10^{-3}	= 0.0163871	= 1.63871×10^{-5}
	1728*	1	7.48052	28.317	0.028317
	231.0*	0.13368	1	3.7854	0.0037854
	61.02374	0.035315	0.264173	1	0.001*
	6.102374×10^{4}	35.315	264.173	1000*	1

Energy	Btu	= ft·lb$_f$	= calorie (cal)	= joule (J) = watt-second (W·s)	= watt-hour (W·h)
Note: MBtu, which is 1000 Btu, is confusing and is not used in the Handbook.	1	= 778.17	= 251.9958	= 1055.056	= 0.293071
	1.2851×10^{-3}	1	0.32383	1.355818	3.76616×10^{-4}
	3.9683×10^{-3}	3.08803	1	4.1868*	1.163×10^{-3}*
	9.4782×10^{-4}	0.73756	0.23885	1	2.7778×10^{-4}
	3.41214	2655.22	859.85	3600*	1

Density	lb/ft^3	= lb/gal	= g/cm^3	= kg/m^3
	1	= 0.133680	= 0.016018	= 16.018463
	7.48055	1	0.119827	119.827
	62.4280	8.34538	1	1000*
	0.0624280	0.008345	0.001*	1

Specific Volume	ft^3/lb	= gal/lb	= cm^3/g	= m^3/kg
	1	= 7.48055	= 62.4280	= 0.0624280
	0.133680	1	8.34538	0.008345
	0.016018	0.119827	1	0.001*
	16.018463	119.827	1000*	1

Viscosity (absolute) 1 poise = 1 dyne-sec/cm^2 = 0.1 Pa·s = 1 g/(cm·s)

poise	= lb$_f$·s/ft^2	= lb$_f$·h/ft^2	= kg/(m·s) = N·s/m^2	= lb$_m$/ft·s
1	= 2.0885×10^{-3}	= 5.8014×10^{-7}	= 0.1*	= 0.0671955
478.8026	1	2.7778×10^{-4}	47.88026	32.17405
1.72369×10^{6}	3600*	1	1.72369×10^{5}	1.15827×10^{5}
10*	0.020885	5.8014×10^{-6}	1	0.0671955
14.8819	0.031081	8.6336×10^{-6}	1.4882	1

Temperature Scale		Temperature K	°C	°R	°F	Temperature Interval	K	°C	°R	°F
Kelvin	x K =	x	$x - 273.15$	$1.8x$	$1.8x - 459.67$	1 K =	1	1	9/5 = 1.8	9/5 = 1.8
Celsius	x°C =	$x + 273.15$	x	$1.8x + 491.67$	$1.8x + 32$	1°C =	1	1	9/5 = 1.8	9/5 = 1.8
Rankine	x°R =	$x/1.8$	$(x - 491.67)/1.8$	x	$x - 459.67$	1°R =	5/9	5/9	1	1
Fahrenheit	x°F =	$(x + 459.67)/1.8$	$(x - 32)/1.8$	$x + 459.67$	x	1°F =	5/9	5/9	1	1

Notes: Conversions with * are exact.
The Btu and calorie are based on the International Table.
All temperature conversions and factors are exact.
The term centigrade is obsolete and should not be used.

When making conversions, remember that a converted value is no more precise than the original value. For many applications, rounding off the converted value to the same number of significant figures as those in the original value provides sufficient accuracy.

Caution: The conversion values in Table 1 are rounded to three or four significant figures, which is sufficiently accurate for most applications. See ANSI *Standard* SI-10 (available from ASTM or IEEE) for additional conversions with more significant figures.