جمهورية العراق

وزارة التربيـــة

المديرية العامة للتعليم المهني

العلوم الصناعية

تكييف الهواء والتثليج

الصف الثالث

تأليف

د. عبد الهادي نعمة خليفة د. إحسان كاظم عباس

د. إصبيح وسمي مايد

الطبعة الثامنة

2024 م – 1446هـ

استناداً إلى القانون يوزع مجاناً ويمنع بيعه وتداوله

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

شُكلت لجنة مختصة من قبل المديرية العامة للتعليم المهني لإعداد كتاب العلوم الصناعية ـ المرحلة الثالثة ـ لطلبة إعداديات الصناعة اختصاص تكييف الهواء والتثليج، كمساهمة جزئية ضمن خطة شاملة لتحديث المناهج التعليمية لجميع الاختصاصات المهنية لتواكب النهضة العلمية والتكنولوجية التي يشهدها بل يعيشها العالم اليوم، ومنها اختصاص تكييف الهواء والتثليج الذي يعتبر واحداً من أهم التخصصات المهنية في العالم، حيث تدخل هذه المهنة في الكثير من مجالات الحياة المختلفة، فعلى سبيل المثال وليس الحصر، نجد أجهزة التثليج مثل الثلاجات والمجمدات وبرادات الماء في كل منزل ناهيك عن أجهزة تكييف الهواء التي أصبحت من ضروريات الحياة العصرية والتي تستخدم بكثرة في المنازل والمساكن وفي جميع الأبنية التجارية والخدمية ووسائط النقل المختلفة مثل السيارات والطائرات والقاطرات والسفن وغيرها.

تم إعداد الكتاب بواقع ثمانية فصول، تناول الفصل الأول مفاهيم وأساسيات مكونات الهواء الرطب. وتناول الفصل الثاني المخطط المصردي وعمليات تكييف الهواء، وكيفية تمثيلها على المخطط. الفصل الثالث أختص في موضوع الحمل الحراري في موسم البرد أي حمل التدفئة، فيما تناول الفصل الرابع الحمل الحراري في موسم الحر أي حمل التبريد. تناول الفصل الخامس أنواع منظومات التبريد المختلفة واستخداماتها. وتناول الفصل السادس موضوع تصاميم مجاري الهواء والتركيبات المختلفة، فيما تناول الفصل السابع أنظمة التدفئة بالماء الساخن وأنواع منظومات أنابيب الماء. نظرا للتطور الحاصل في منظومات السيطرة لأجهزة التبريد المختلفة فلابد من إعطاء الطالب في هذه المرحلة وقبل تخرجه وذهابه إلى سوق العمل، أن تكون له معرفة بالأساسيات الإليكترونية مثل أشباه الموصلات والدوائر الإليكترونية المتكاملة وغيرها فتم تناول هذه المواضيع في الفصل الأخير (الثامن).

لقد تم إدراج أمثلة محلولة في حسابات القوانين والمعادلات الرياضية وغيرها في المواضيع ذات العلاقة، بالإضافة إلى إعطاء أسئلة مختلفة في نهاية كل فصل ليتمكن الطالب بمساعدة مدرسي المادة فهم القوانين والمعادلات بشكل أكبر، واستيعاب اختصاص تكييف الهواء والتثليج بصورة علمية وفنية صحيحة ومن ثم يكون قادراً على المهام الفنية التي سوف يُكّلف بها مستقبلاً من تحليل منظومات التبريد المختلفة ونصب أجهزة التثليج وملحقاتها وصيانتها وتشخيص العطلات التي سوف تصادفه وإيجاد الحلول المنطقية الصحيحة لها.

أن الفصول الدراسية المذكورة آنفاً ستكون بعون الله القاعدة الأساسية للمراحل الدراسية اللاحقة، وساندة لكتاب التدريب العملي للمراحل الدراسية الثلاث.

ندعو الله عز وجل أن نكون قد وفقنا في جهدنا بأعداد هذا الكتاب، وسنكون شاكرين لكل الأخوة المعنيين بهذه المادة إذا ما زودنا بملاحظاتهم وآرائهم حول الكتاب مع شكرنا واعتزازنا بالجميع.

..... والله الموفق

المؤلفون

بغداد / 2010

مقدمة الطبعة الثانية

أعتمد كتاب العلوم الصناعية المرحلة الثالثة بطبعته الأولى للعام الدراسي 2012-2013، وقد وردتنا ملاحظات عديدة منها علمية وأخرى تتعلق بحذف بعض الفقرات والجداول من بعض فصول الكتاب التي بالإمكان أن يتناولها الطالب في مراحل دراسية لاحقة. ومما يثير الفرحة في نفوسنا التواصل البنَاء والتفاعل لمعظم مدرسي المادة الدراسية ومن كافة محافظات بلدنا العزيز ونخص بالذكر المهندس الفاضل **حكمت صالح علي** من إعدادية جابر بن حيان الصناعية في محافظة البصرة، وآخرين من أمثاله لا يسع المجال لذكرهم نتمنى لهم الاستمرار في العطاء والتوفيق.

نتقدم ببالغ الشكر والتقدير للأستاذ الدكتور **خالد أحمد الجودي** أستاذ مادة التكييف والتثليج في قسم الهندسة الميكانيكية في جامعة بغداد على دوره الفعال في تقييم هذا الكتاب بخبرته العلمية الرصينة ليظهر الكتاب بهذا المستوى بين أيدي إخوتنا المدرسين وأبنائنا الطلبة.

المؤلفون

بغداد / 2013

المحتويات

الفصل الأول

الهواء الرطب
مكونات الهواء الجوي 8
الهواء الجاف 8
بخار الماء 8
قانون بويل 9
قانون شارلز 10
قانون دالتون 11
درجة حرارة البصلة الجافة 13
درجة حرارة البصلة الرطبة 13
ضغط بخار الماء في الهواء 14
الرطوبة 14
محتوى الرطوبة 14
نقطة الندى 15
الحجم النوعي 15
الحرارة 16
الحرارة المحسوسة 16
الحرارة الكامنة 16
اسئلة الفصل 18

الفصل الثاني

العمليات المصردية
المخطط المصردي 20
عمليات على المخطط المصردي 25
خلط الهواء 25
التبريد المحسوس 28
التسخين المحسوس 29
إزالة الرطوبة 30
الترطيب 32

تطبيقات على العمليات المصردية 36
الأحمال الحرارية 36

دورة الصيف 38
دورة الشتاء 41
التسخين المسبق-إعادة التسخين 41
متطلبات راحة الأنسان 43
أسئلة الفصل 45

الفصل الثالث

حمل التدفئة
الحرارة وطرائق انتقالها 49
انتقال الحرارة بالتوصيل 49
انتقال الحرارة بالحمل 49
انتقال الحرارة بالإشعاع 50
معامل التوصيل الحراري 50
معامل انتقال الحرارة الإجمالي 50
حمل التدفئة 55
الحرارة المنتقلة عبر الزجاج 55
الحرارة المنتقلة خلال الأبواب 56
الحرارة المنتقلة خلال الجدران 56
الحرارة المفقودة عبر الأرضيات 57
الحرارة المفقودة عبر أسس البناية 58
الحرارة المنتقلة بسبب التهوية 58
حساب الهواء المجهز إلى البناية 60
أسئلة الفصل 67
جداول حمل التدفئة 68

الفصل الرابع

حمل التبريد
المقدمة 75
حمل التبريد المحسوس 75
حمل التبريد الكامن 75
وقت الذروة 76
مكونات حمل التبريد 76
فرق درجات الحرارة المكافئ 77
الحرارة المتولدة بسبب شاغلي البناية 80
الحرارة المتولدة بسبب الإنارة 80
الحرارة المتولدة بسبب الأجهزة الكهربائية 81
الحمل الحراري بسبب التهوية 82
الحرارة الداخلة بسبب تخلل الهواء 83
الحمل الحراري الإجمالي 83
أسئلة الفصل 88
جداول الفصل 89

المحتويات

الفصل الخامس

منظومات التكييف

مكيف الهواء الجداري 92
أجزاء مكيف الهواء الجداري 92
مكيف الهواء المنفصل 95
أنواع مكيفات الهواء المنفصلة 95
أجزاء مكيف الهواء المنفصل 95
أنظمة تكييف الهواء المركزي 98
الوحدات المجمعة 98
مثلجات الماء 100
وحدات دفع الهواء 101
وحدات المروحة والملف 103
تكييف السيارة 105
أسئلة الفصل 110

الفصل السادس

منظومات نقل الهواء وتوزيعه

المقدمة 112
خصائص مجاري الهواء 112
أعتبارات تصميمية 112
طرائق حساب أبعاد مجاري الهواء 113
منظومات الهواء الراجع 123
توزيع الهواء في الغرف 123
معدات توزيع الهواء 123
أسئلة الفصل 126
جداول الفصل 128

الفصل السابع

أنظمة التدفئة بالماء الساخن

مقدمة 132
تصنيف أنظمة التدفئة الماء الساخن 133
مكونات نظام التدفئة بالماء الساخن 134
المراجل 134
المشعات الحرارية 135
مضخات الماء 138
أنواع شبكات الأنابيب 140
شبكات المياه للتدفئة المركزية 140
دورة على التوالي 140
شبكة ذات أنبوب واحد 141
ذات أنبوبين- إرجاع عكسي للماء 141

الفصل السابع

أنظمة التدفئة بالماء الساخن

ذات أنبوبين–إرجاع مباشر للماء 142
ذات ثلاثة أنابيب 142
ذات أربعة أنابيب 143
أسئلة الفصل 145

الفصل الثامن

أساسيات إلكترونية

الموصلات 147
العوازل 147
أشباه الموصلات 147
الثنائي (الدايود) 148
عمل الدايود 148
الترانزستور 150
تركيب الترانسزتور 150
مبدأ عمل الترانزستور 151
أستعمال الترانسزتور 151
الدوائر المتكاملة 153
مكبرات التشغيل 154
استعمالات مكبرات التشغيل 154
المؤقتات الزمنية 156
أسئلة الفصل 157

الفصل الأول

الهواء الرطب Moist Air

الهواء الرطب Moist Air

1-1 مكونات الهواء الجوي Atomospheric Air Components

يتكون الهواء الجوي من مكونين أساسيين أحدهما الهواء الجاف، والآخر بخار الماء فضلاً عن مكوَن ثالث هو الغبار والملوثات الجوية الأخرى التي يمكن التخلص منها عن طريق الترشيح.

- **الهواء الجاف Dry Air**: يتكون الهواء الجاف من خليط من عدة غازات هي النتروجين، الأوكسجين، الآركون، ثاني أوكسيد الكاربون، الهيدروجين، أول أوكسيد الكاربون، وغيرها من الغازات، ويبين الجدول (1-1) النسبة المئوية الحجمية لمكونات الهواء الجاف والوزن الجزيئي لكل مكون، ويمكن إعتبار الهواء الجاف مادة نقية متجانسة.
- **بخار الماء Water Vapour**: يوجد بخار الماء بنسب مختلفة وغير ثابتة، وتعتمد كمية وجوده على عدة عوامل، منها درجة الحرارة في الفصول الأربعة، والموقع الجغرافي، ويوجد بخار الماء إما بهيئة بخارمشبع أو بخار محمص، ويُعد بخار الماء مادة نقية متجانسة.

جدول 1-1 مكونات الهواء الجوي

الغاز	الرمز	النسبة المئوية الحجمية %	الوزن الجزيئي
النتروجين	N_2	78.0480	28.02
الأوكسجين	O_2	20.9476	32.00
ثاني أوكسيد الكاربون	CO_2	0.0314	44.00
الهيدروجين	H_2	0.00005	2.02
الآركون	Ar	0.9347	39.91

ويطلق على الهواء الجاف منفرداً غازاً مثالياً، وكذلك يطلق على بخار الماء منفرداً غازاً مثالياً أيضاً، ولكن خليط بخار الماء والهواء لا يُعد غازاً مثالياً، وقبل توضيح سبب ذلك يجب تعريف الغاز المثالي.

الغاز المثالي هو الغاز الذي يخضع لقانون بويل وقانون شارلز.

1- 2 قانون بويل Boyle's Law

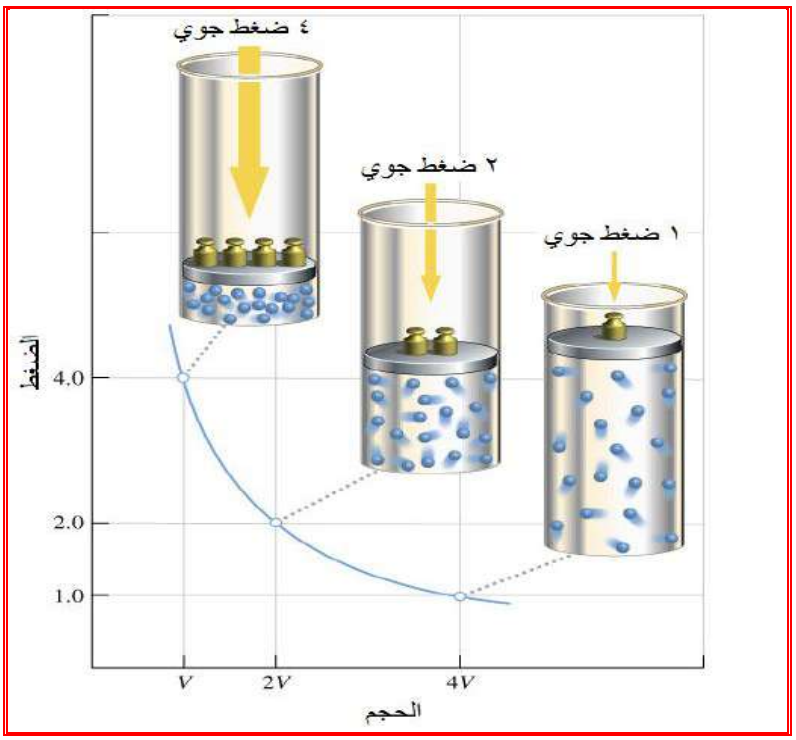
عند تغير حالة الغاز بثبوت كتلة الغاز ودرجة حرارته، يتناسب الحجم عكسيا مع الضغط.

أي أن: العلاقة ما بين الحجم والضغط هي علاقة عكسية، وبعبارة أخرى، عند زيادة الضغط المسلط على الغاز يقل حجم الغاز، أو بعبارة أخرى إن حاصل ضرب الحجم في الضغط يساوي قيمة ثابتة بثبوت درجة حرارة الغاز. وتبين المعادلة أدناه والشكل (1-1) العلاقة بين الحجم والضغط في قانون بويل.

$$V \times P = C$$

إذ إن:

V	حجم الغاز	m^3
P	ضغط الغاز	Pa
C	ثابت التناسب	



شكل 1-1 قانون بويل يتناسب الحجم عكسياً مع الضغط

1- 3 قانون شارلز Charles's Law

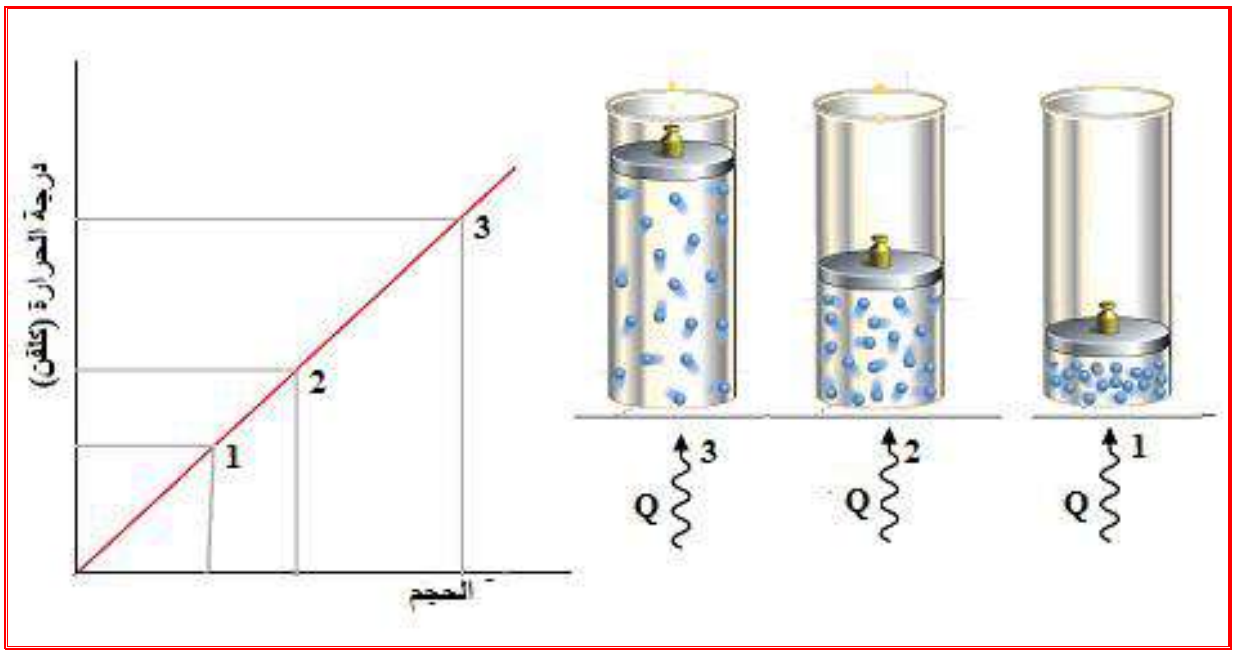
عند تغير حالة الغاز بثبوت كتلة الغاز وضغطه، يتناسب الحجم طردياً مع درجة الحرارة المطلقة

أي أن: حجم الغاز يزداد بزيادة درجة حرارته مع ثبوت ضغطه، وتبين المعادلة في أدناه وكذلك الشكل (2-1) قانون شارلز.

$$V = C \times T$$

إذ إن:

V	حجم الغاز	m^3
T	درجة الحرارة المطلقة	K
C	ثابت التناسب	



شكل 1-2 قانون شارلز، يتناسب الحجم طردياً مع درجة الحرارة

4-1 قانون دالتون للضغوط الجزئية Dalton's Law of Partial pressure

الضغط الكلي الذي يسلطه خليط من الغازات (عند ضغط ودرجة حرارة معينين)، يساوي مجموع الضغوط الجزئية لكل غاز.

أي أن: الضغط الجوي الذي يسلطه الهواء يساوي مجموع الضغوط الجزئية للأوكسجين والنتروجين والهيدروجين وبخار الماء والمكونات الأخرى للهواء الجوي.

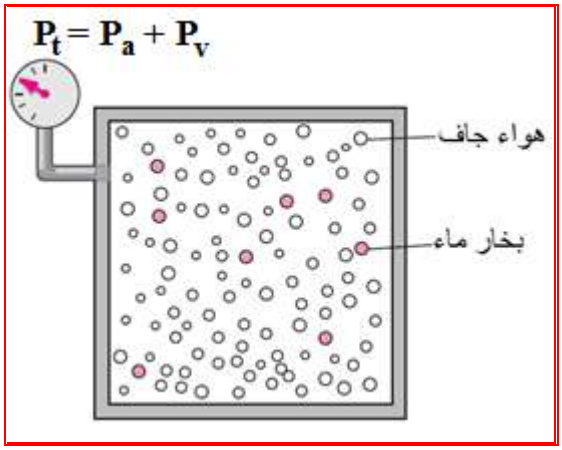
ويمكن أن نفهم من قانون دالتون ما يأتي:

- **إن الغاز ضمن خليط الغازات يتصرف كما لو كان بمفرده، أي أن وجوده مع بقية الغازات لا يؤثر على سلوكه.**
- **الضغط الكلي لخليط الغازات ناتج عن جمع الضغوط الجزئية لكل غاز.**

أي أن:

الضغط الكلي للهواء الجوي = ضغط الهواء الجاف + ضغط بخار الماء في الهواء

ويبين الشكل (1-3) قانون دالتون



شكل 1-3 قانون دالتون الضغط الجوي المسلط من قبل الهواء يساوي مجموع الضغوط الجزئية للهواء الجاف وبخار الماء في الهواء.

وكما ذُكر في مادة العلوم للصناعية للصف الأول، تُشتق المعادلة العامة للغازات من قانوني بويل وشارلز، وتكتب المعادلة العامة للغازات كما يأتي:

$$P \times V = m \times R \times T$$

إذ أن:

V	حجم الغاز	**m^3**
P	ضغط الغاز	**kPa**
m	كتلة الغاز	**kg**
R	ثابت الغاز	**kJ/kg.K**
T	درجة الحرارة المطلقة	**K**

وتجدر الإشارة هنا إلى أن المعادلة العامة للغازات ستطبق على الهواء الجاف بوصفه مادة نقية، وكذلك يمكن تطبيق المعادلة العامة للغازات على بخار الماء في الهواء، إلا أن خليط بخار الماء والهواء لا يُعد مادة نقية[1]. وعلى هذا الأساس يمكن كتابة قيمة ثابت الغازات للهواء الجاف وبخار الماء وكما يأتي:

ثابت الغاز للهواء الجاف	0.287	kJ/kg.K
ثابت الغاز لبخار الماء	0.416	kJ/kg.K

مثال 1

احسب الحجم النوعي وكثافة الهواء عند درجة حرارة (25℃) وضغط (101.325 kPa) وان ثابت الغاز هو 0.287kj/kg.k ؟

الجواب

$$P \times V = m \times R \times T$$

$$\upsilon = V / m$$

إذاً يمكن كتابة المعادلة العامة للغازات بالصورة الآتية:

$$P \times \upsilon = R \times T \rightleftarrows \upsilon = \frac{\mathbf{R \times T}}{\mathbf{P}} = \frac{\mathbf{0.287 \times (25+273)}}{\mathbf{101.325}} = 0.844\ m^3/kg$$

بما أن الكثافة هي مقلوب الحجم النوعي، إذاً:

$$\rho = 1/\upsilon = \frac{1}{0.844} = 1.185\ kg/m^3$$

[1] يعود سبب ذلك إلى ان بخار الماء يمكن أن يتحول إلى سائل ضمن درجات الحرارة العاملة، وعند تحوله إلى ماء لا يمكن تطبيق المعادله العامة كونها للغازات والابخرة فقط.

مثال 2

غرفة حجمها ($20\ m^3$)، عند ضغط جوي ($100\ kPa$) ودرجة حرارة ($20°C$)، احسب كتلة الهواء في الغرفة, اذا علمت ان ثابت الغاز يساوي $0.287kj/kg.k$ ؟

الجواب

$$P \times V = m \times R \times T \rightrightarrows$$

$$m = \frac{P \times V}{R \times T} = \frac{100 \times 20}{0.287 \times (20+273)} = 23.78\ kg$$

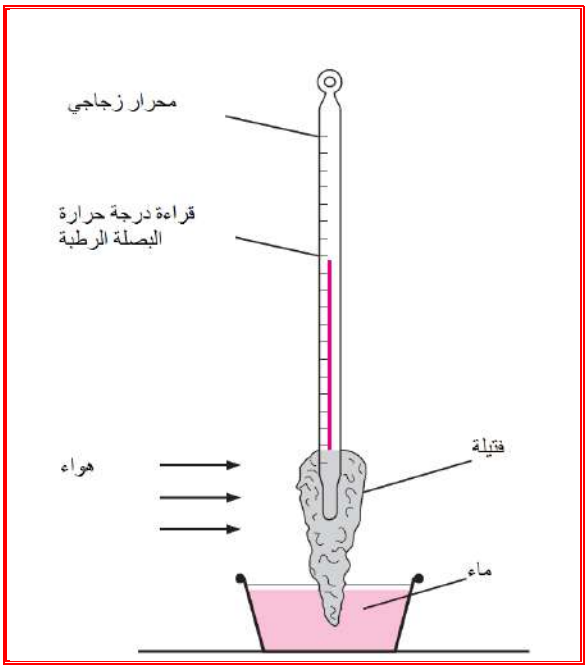
5-1 درجة حرارة البصلة الجافة Dry Bulb Temperature (T_D)

تمثل درجة حرارة البصلة الجافة للهواء، درجة الحرارة التي يوصف بها الهواء. وتقاس عندما تكون بصلة المحرار غير مغطاة. وتقاس درجة حرارة البصلة الجافة بواسطة المحارير الزجاجية سواء أكانت كحولية أم زئبقية، أو بوساطة المحارير الرقمية، وعند القياس يجب التأكد من جفاف بصلة المحرار.

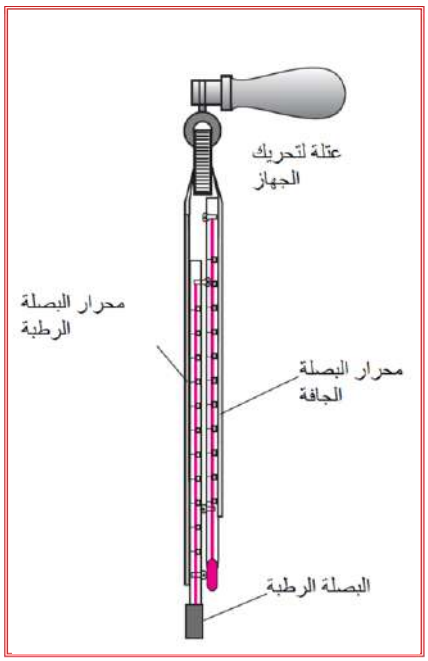
6-1 درجة حرارة البصلة الرطبة Wet Bulb Temperature (T_W)

وتمثل درجة حرارة البصلة الرطبة مقدار ما يمكن أن يستوعبه الهواء الجاف من بخار الماء. فعندما تكون درجة حرارة البصلة الرطبة منخفضة عند مقارنتها بدرجة حرارة البصلة الجافة، فهذا يعني أن الهواء الجاف يمكن أن يستوعب كميات كبيرة من بخار الماء. وتقاس درجة حرارة البصلة الرطبة بواسطة المحارير الزجاجية ايضا، إلا أنه يجب تغطية بصلة المحرار بفتيلة رطبة، ولمنع جفاف الفتيلة يجب غمرالفتيلة بإناء يحتوي على الماء، وهذا يؤدي إلى إنخفاض درجة حرارة البصلة، وعلى هذا الأساس تكون درجة حرارة البصلة الرطبة أقل من درجة حرارة البصلة الجافة، وعند تساوي قراءة المحرار لدرجة حرارة البصلة الجافة مع درجة حرارة البصلة الرطبة فهذا يعني أن الهواء الجوي مشبع ببخار الماء ولا يمكن أن يستوعب كميات اخرى من بخار الماء ويبين الشكل (1-4 أ) طريقة قياس درجة حرارة البصلة الرطبة .

ويستعمل عادة جهازيسمى المصرد Psychrometer يحتوي على محرارين أحدهما لقياس درجة حرارة البصلة الجافة، والآخر تغطى بصلته بفتيلة رطبة لغرض قياس درجة حرارة البصلة الرطبة للهواء، وللجهاز مقبض في بدايته، يستعمل لتدوير الجهاز بسرعة حول محور المقبض لغرض زيادة حركة الهواء حول المحرارين، وكما هو مبين في الشكل (1-4 ب).



أ- طريقة قياس البصلة الرطبة للهواء.



ب- مصرد (مقلاعي)

شكل 1-4 طريقة قياس درجتي حرارة البصلتين الجافة والرطبة

7-1 ضغط بخار الماء في الهواء الرطب Vapour Pressure (P_v)

هو الضغط الذي يسلطه بخار الماء الموجود مع الهواء الجاف كما لو كان بخار الماء يتصرف بمفرده، إذ يشير ضغط بخار الماء في الهواء إلى قابلية الهواء على إستيعاب كميات أخرى من بخار الماء، ويُعد ضغط بخار الماء جزءاً من الضغط الجوي المقاس.

8-1 ضغط بخار الماء المشبع للهواء الرطب Saturation Vapour Pressure (Pv_s)

وهو الضغط الذي يسلطه بخار الماء عندما يكون في حالة التشبع، وعند وصول ضغط البخار إلى حالة التشبع، يعني أن الهواء فقد قابليته على إستيعاب كميات اخرى من بخار الماء، وعندها نقول إن الهواء مشبع ببخار الماء، أو هواء مشبع.

9-1 الرطوبة Humidity

إن سبب رطوبة الهواء كما هو معروف هو بخار الماء، ويمكن أن نعبر عن الرطوبة بثلاثة طرائق هي:

أ- **الرطوبة النسبية Relative Humidity RH**: وتمثل النسبة بين ضغط بخار الماء في الهواء إلى ضغط بخار الماء المشبع في الهواء عند درجة حرارة معينة.

$$RH = \frac{P_v}{P_{vs}}$$

ب- **المحتوى الرطوبي Moisture Content W**: وهي النسبة بين كتلة بخار الماء في الهواء (m_v) إلى كتلة الهواء التي تحتوي هذه الكمية من البخار (m_a)، وتُقاس إعتيادياً نسبة إلى كتلة كيلو غرام واحد من الهواء.

$$W = \frac{m_v}{m_a}$$

ج- **نسبة الترطيب μ humidification ratio**: وهي النسبة بين المحتوى الرطوبي للهواء الرطب إلى المحتوى الرطوبي للهواء المشبع (W_s).

$$\mu = \frac{W_v}{W_s}$$

10-1 نقطة الندى Dew Point (T_d)

وهي درجة الحرارة التي يبدأ بها بخار الماء في الهواء بالتكثف والتحول إلى قطرات من السائل.

11-1 الحجم النوعي Specific Volume (υ)

وهو حجم وحدة الكتلة، أو الحجم الذي يشغله كيلوغرام واحد من المادة، وهو مساوي لمقلوب الكثافة.

12-1 المحتوى الحراري النوعي Enthalpy (h)

وهو مقدار ما تحتويه المادة من الحرارة، والمحتوى الحراري للهواء ناتج عن جمع المحتوى الحراري للهواء الجاف والمحتوى الحراري لبخار الماء.

$$\mathbf{h = h_a + W \times h_v}$$

إذ ان:

h	المحتوى الحراري النوعي	kJ/kg
h_a	المحتوى الحراري النوعي للهواء الجاف	kJ/kg
W	المحتوى الرطوبي	kg_v/kg_a
h_v	المحتوى الحراري النوعي لبخار الماء	kJ/kg_v

13-1 الحرارة Heat (Q)

كما مر ذكره في العلوم الصناعية للصف الأول إن الحرارة حالة طارئة على المادة، وهي مفهوم إنتقالي ولا تنتقل الحرارة إلا بوجود فرق لدرجات الحرارة، وتقسم الحرارة على قسمين، أحدهما حرارة محسوسة والآخر حرارة كامنة، ومجموعهما يسمى بالحرارة الكلية.

أ- **الحرارة المحسوسة Sensible Heat Q_s**: وهي كمية الحرارة التي تغير درجة حرارة المادة من دون تغير طورها (أي تبقى على حالها، فإذا كانت سائلة تبقى سائلة عند ارتفاع درجة الحرارة أو انخفاضها)، أي أن التغير يشمل درجة حرارة المادة فحسب، وتحتسب كمية الحرارة المحسوسة عن طريق ضرب كتلة المادة في الحرارة النوعية للمادة في فرق درجات الحرارة قبل التسخين وبعده.

كمية الحرارة المحسوسة = كتلة المادة × الحرارة النوعية للمادة × فرق درجات الحرارة

$$Q_s = m \times C \times \Delta T$$

ب- **الحرارة الكامنة Latent Heat Q_l**: هي الحرارة التي تعمل على تغيير طور المادة من دون زيادة درجة حرارتها، فمثلاً يغلي الماء عند الضغط الجوي عند 100°C، ويستمر الماء بالغليان عند هذه الدرجة إلى أن يتحول جميع الماء إلى بخار، لذلك فإن الحرارة المطلوبة لتحويل الماء من سائل عند 100°C إلى بخار عند 100°C تسمى بالحرارة الكامنة لتبخر الماء.

ج- **الحرارة الكلية Total Heat Q_t**: وهي الحرارة الكلية الناتجة عن جمع القيمة العددية للحرارة المحسوسة مع القيمة العددية للحرارة الكامنة.

14-1 كمية الماء المضافة أو المتكثفة

تعرف كمية الماء المتحول إلى بخار ضمن الهواء الرطب بأنها كمية الماء المضافة إلى الهواء الرطب، في حين أن كمية بخار المتكثف الخارج من الهواء الرطب تعرف بكمية الماء المتكثف.

ويمكن حساب كمية الماء المضافة أو المسحوبة من الهواء من المعادلة الآتية:

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a \times (W_2 - W_1)$$

إذ أن:

$\dot{m}_w$	كتلة الماء المضافة أو المسحوبة	kg/s
$\dot{m}_a$	معدل التدفق الكتلي للهواء	kg/s
W_2	المحتوى الرطوبي للهواء في نهاية الإجراء	g_v/kg_a أو kg_v/kg_a
W_1	المحتوى الرطوبي للهواء عند بداية الإجراء	kg_v/kg_a

مثال 3

احسب كمية بخار الماء في غرفة حجمها ($32\ m^3$) ومحتوى رطوبي ($0.01\ kg_v/kg_a$)، مع الأخذ بالحسبان أن الحجم النوعي للهواء ($0.8\ m^3/kg$)

الجواب

$$\upsilon = \frac{V}{m_a}$$

$$m_a = \frac{V}{\upsilon} = \frac{32}{0.8} = 40\ kg$$

$$m_v = m_a \times W$$

$$m_v = 40 \times 0.01 = 0.4\ kg_v$$

مثال 4

احسب كمية بخار الماء المتكثف من هواء يمر بمعدل تدفق كتلي يساوي (2.5 kg/s) ومحتوى رطوبي يساوي ($15\ g/kg_a$)، على ملف تبريد فينخفض المحتوى الرطوبي إلى ($5\ g/kg_a$).

الجواب:

تحسب كمية بخار الماء المتكثف من المعادلة الآتية:

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a \times (W_2 - W_1)$$

$$\dot{m}_w = 2.5 \times (15 - 5) = 25\ g_W/s$$

أسئلة الفصل الأول

س1: كمية من الغاز حجمها ($2\ m^3$)، وضغطها (100 kPa)، درجة حرارتها (20°C)، احسب حجم نفس الكمية من الغاز عند درجة حرارة (30°C)، وضغط (120 kPa). ج/ $1.7\ m^3$

س2: يتدفق الهواء بمعدل ($2.5\ m^3/s$)، وبدرجة حرارة (50°C) وضغط (110 kPa)، فإذا علمت إن الهواء يتم تبريده إلى (25°C)، أوجد معدل التدفق الحجمي للهواء بعد تبريده، واحسب كذلك معدل التدفق الكتلي للهواء بثبوت الضغط. ج1/ $2.3\ m^3/s$ ج2/ 2.96 kg/s

س3: أجب بكلمة **صح** على العبارة الصحيحة وكلمة **خطأ** على العبارة الخاطئة لكل مما يأتي:

أ- يُعد الهواء الجوي غازاً مثالياً.

ب- تـزداد كثافة الهواء مع زيادة درجة الحرارة.

ج- عند ثبوت درجة حرارة الغاز يقل حجمه عند زيادة الضغط.

د- عند ثبوت ضغط الغاز يقل حجمه مـــع زيادة درجة الحرارة.

هـ - درجة حرارة البصلة الرطبة أعلى من درجة حرارة البصلة الجافة.

و- كلما زاد المحتوى الرطوبي قلت كمية بخار الماء فـــــي الهواء.

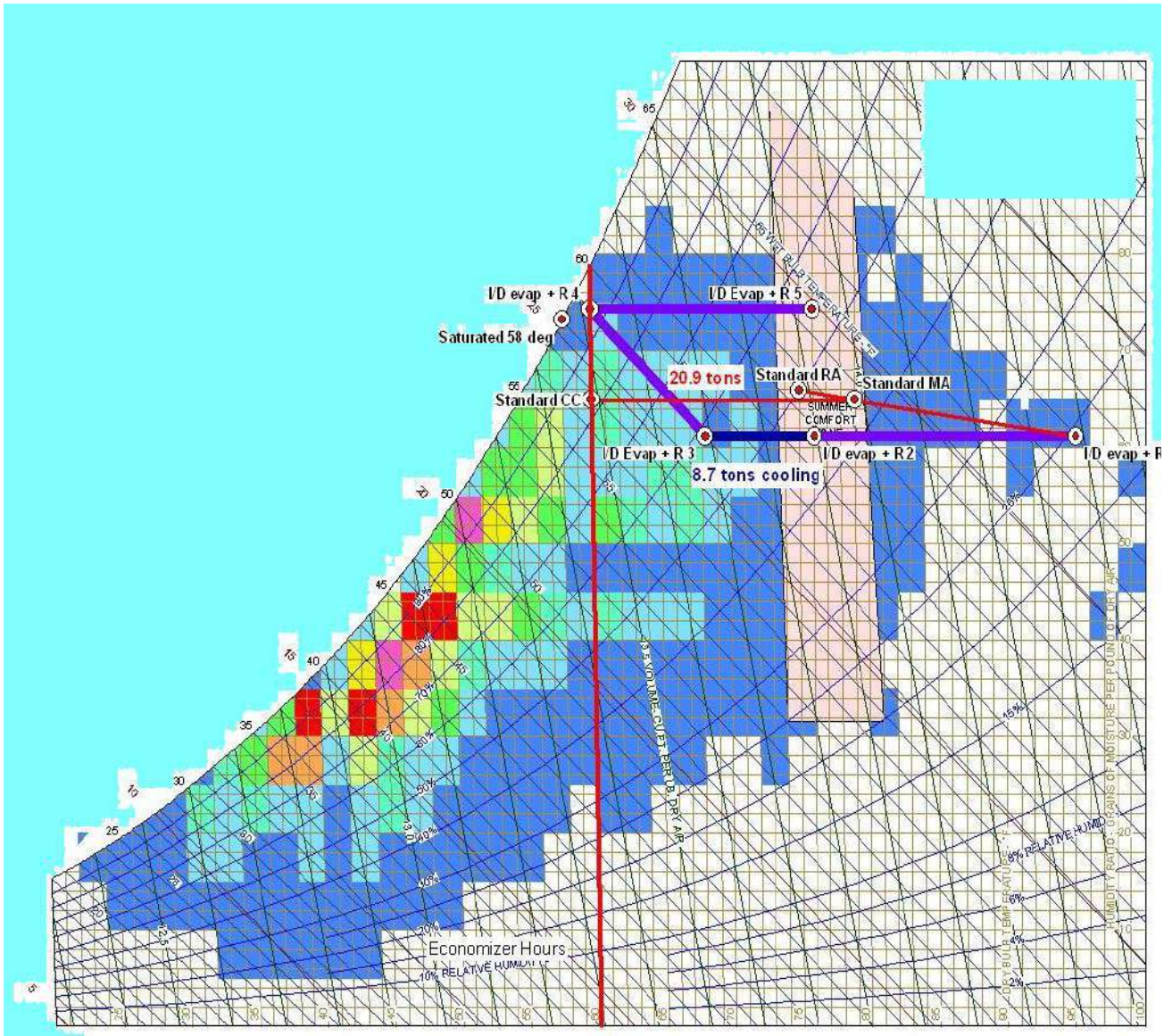
ز- فـــي الهواء المشبع تتساوى درجتا حرارة البصلتين الجافة والرطبة.

ح- المحتوى الحراري يكون أكبر للهواء الجاف من الهواء الرطب عند درجة الحرارة نفسها.

س4: اختر الجواب الصحيح مما يأتي:

درجة حرارة البصلة الرطبة	أ- اعلى من درجة حرارة البصلة الجافة ب- تساوي درجة حرارة البصلة الجافة إذا كان الهواء مشبعاً ج- أقل من درجة الحرارة البصلة الجافة
المحتوى الحراري للهواء الرطب يساوي	أ- المحتوى الحراري للبخار ب- المحتوى الحراري للهواء الجاف ج- المحتوى الحراري للهواء الجاف وبخار الماء في الهواء الرطب
المحتوى الرطوبي هو	أ- الحجم النوعي للهواء الرطب ب- كتلة بخار الماء لكل كيلوغرام من الهواء الجاف ج- كتلة الهواء لكل كيلوغرام من الماء
الهواء المشبع هو الهواء	أ- الذي رطوبته النسبية تساوي 100% ب- عند درجة حرارة البصلة الجافة ج- الذي يحتوي كيلوغرام واحد من الماء لكل كيلو غرام من الهواء.

الفصل الثاني
العمليات المصردية
Psychrometric Processes



العمليات المصردية

Psychrometric Processes

1-2 المخطط المصردي Psychrometric Chart

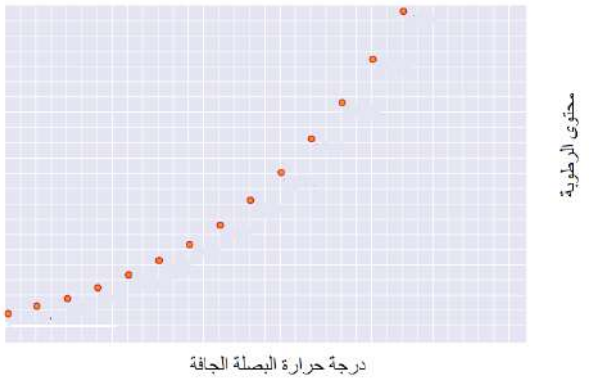
المخطط المصردي هو مخطط تم بناؤه لغرض تمثيل عمليات تكييف الهواء عليه بسهولة، وعن طريق معرفة خاصيتين للهواء الرطب يمكن إيجاد الخواص الأخرى له. وبُني المخطط المصردي على عدة مراحل باعتماد خواص الهواء الست. وهي درجة حرارة البصلة الجافة، درجة حرارة البصلة الرطبة، المحتوى الرطوبي، الرطوبة النسبية، الحجم النوعي والمحتوى الحراري.

1-1-2 درجة حرارة البصلة الجافة Dry Bulb Temperature (T_D)

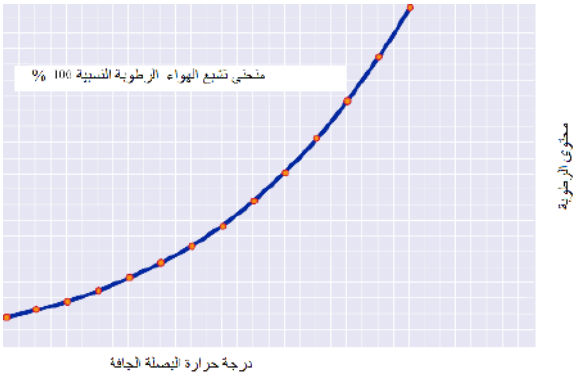
قُسم المحور السيني للمخطط على أقسام متساوية تمثل درجة حرارة البصلة الجافة، ومن هذه الأقسام تم رسم خطوط عمودية يمثل كل خط عمودي إجراء ثبوت درجة حرارة البصلة الجافة وكما هو مبين في الشكل(2-1 أ).

2-1-2 المحتوى الرطوبي Moisture Content (W)

يتم تقسيم المحور الصادي الأيمن على أقسام متساوية تمثل المحتوى الرطوبي للهواء، ومنه تم رسم خطوط أفقية تمثل إجراء ثبوت المحتوى الرطوبي للهواء، ومن المعروف أن لكل درجة حرارة بصلة جافة هنالك حد أقصى من المحتوى الرطوبي، فعند تقاطع درجة حرارة البصلة الجافة مع الحد الأقصى للمحتوى الرطوبي تعين نقطة ما تكون عندها الرطوبة النسبية تساوي 100%، وبتكرار حالة تقاطع درجات حرارة البصلة الجافة مع المحتوى الرطوبي الأقصى نحصل على منحنٍ يمثل منحني تشبع الهواء وكما هو مبين في الشكل(2-1 ب).



أ- رسم خطوط درجة حرارة البصلة الجافة



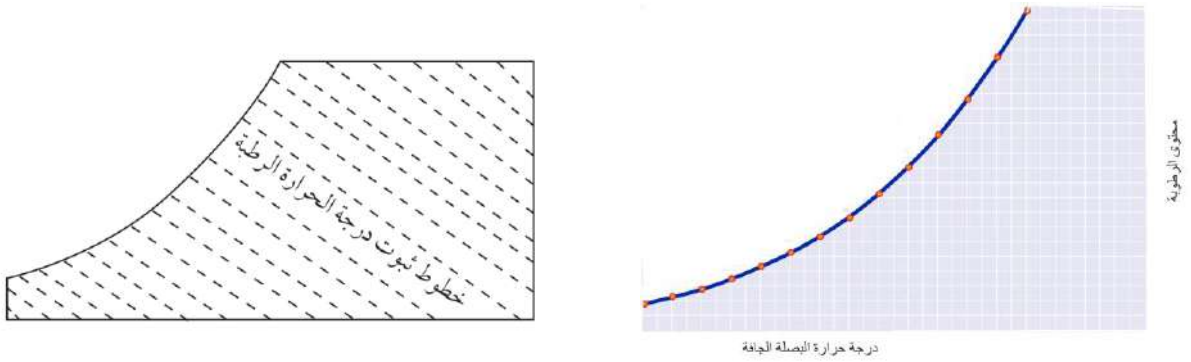
ب- تعيين نقاط تشبع الهواء

شكل 2-1 رسم المنحني المصردي للهواء

بعد ذلك يتم اعتماد الجزء الأيمن لمنحني تشبع الهواء ويهمل الجزء الذي على يسار منحني التشبع، كما هو مبين في الشكل (2-1 ج).

3-1-2 درجة حرارة البصلة الرطبة Wet Bulb Temperature (T_W)

بعد ذلك يتم تعيين خطوط درجة حرارة البصلة الرطبة، وتمثل بخطوط مائلة، وبما أن درجة حرارة البصلة الجافة تساوي درجة حرارة البصلة الرطبة عند خط تشبع الهواء لذا يتم تعيين قيمة درجة حرارة البصلة الرطبة عند خط تشبع الهواء، كما هو مبين في الشكل (2-1 د).



ج- اقتطاع جزء من المنحني ليمثل المخطط المصردي د- رسم خطوط درجة حرارة البصلة الرطبة

شكل 2-1 رسم المنحني المصردي للهواء

4-1-2 الرطوبة النسبية Relative Humidity (RH)

لتعيين خطوط الرطوبة النسبية يتم تقسيم المسافة بين الهواء الجاف، أي عندما تكون الرطوبة النسبية 0% (الحالة عند محور السينات) وحالة تشبع الهواء 100%، على مسافات متساوية قيمة كل منها 10% ويتم رسم المنحنيات التي تمثل الرطوبة النسبية، كما هو مبين في الشكل(2-1 هـ).

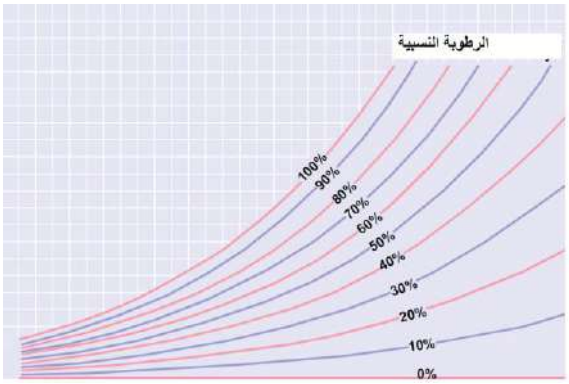
5-1-2 الحجم النوعي Specific Volume (υ)

يتم رسم خطوط مائلة بميل أكبر من ميل خطوط درجة حرارة البصلة الرطبة، حيث تمثل هذه الخطوط الحجم النوعي للهواء الرطب، كما هو مبين في الشكل(2-1 و).

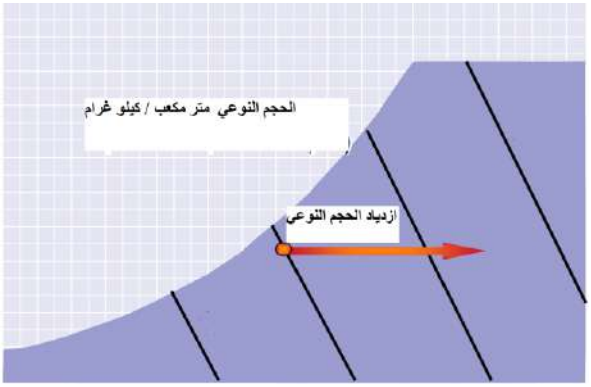
6-1-2 المحتوى الحراري Enthalpy (h)

وأخيراً يتم رسم خطوط المحتوى الحراري وتكون تقريباً موازية لخطوط درجة حرارة البصلة الرطبة، كما هو مبين في الشكل (2-1 ز).

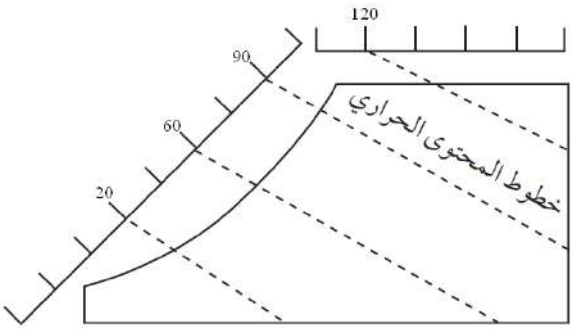
وعند اكتمال الرسم يأخذ المخطط المصردي شكله النهائي، كما هو مبين في الشكل (2-1 ح).



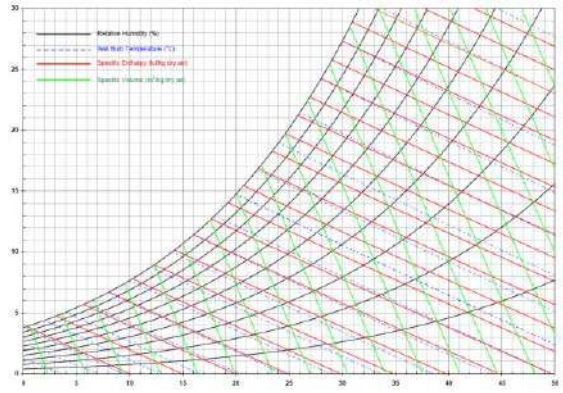
هـ رسم منحنيات الرطوبة النسبية



و- رسم خطوط الحجم النوعي



ز- رسم خطوط ثبوت المحتوى الحراري



ح- الشكل النهائي للمخطط المصردي

شكل 2-1 رسم المخطط المصردي للهواء

<u>كيفية قراءة القيم في المخطط المصردي</u>

نستطيع أن نحدد ما يأتي حسب النقاط المبينة على الشكل (2-2):

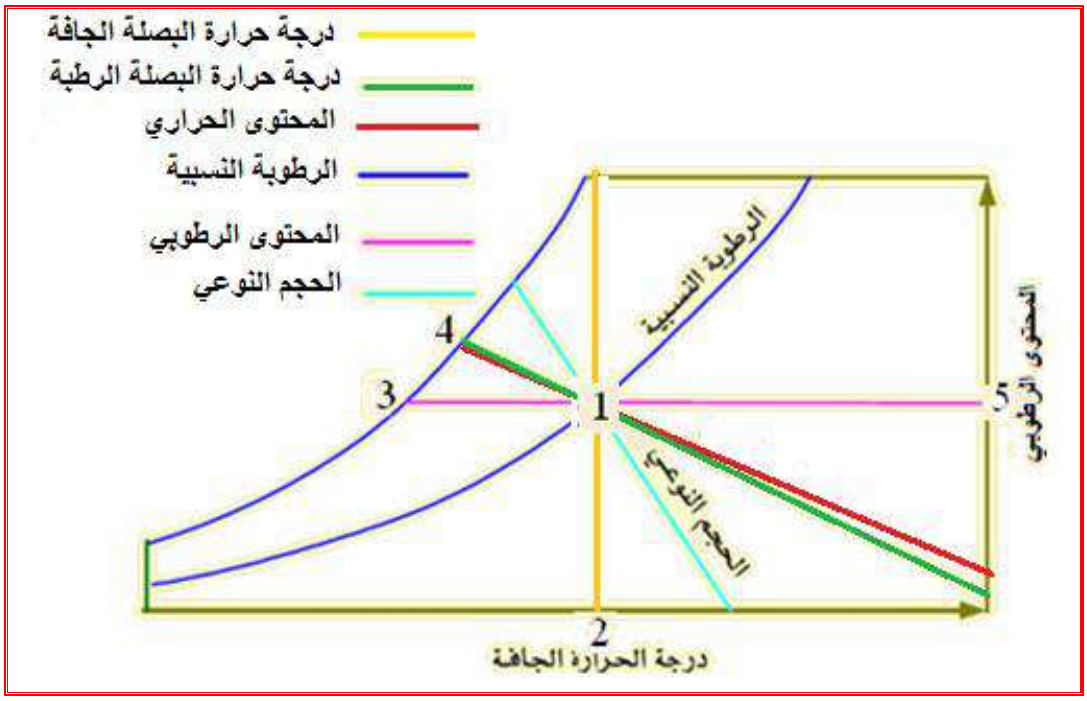
النقطة 1 تمثل حالة الهواء على المخطط، ومنها يعرف الحجم النوعي والرطوبة النسبية.

النقط 2 نهاية الخط العمودي من 1، وتمثل درجة حرارة البصلة الجافة.

النقطة 3 تمثل نهاية الخط الأفقي إلى اليسار من 1، وتمثل نقطة الندى.

النقطة 4 تمثل نهاية الخط المرسوم من 1 الموازي لدرجة حرارة البصلة الرطبة، ونهايته تمثل قيمة درجة حرارة البصلة الرطبة والقريبة منها (بميل قليل بينهما) المحتوى الحراري.

النقطة 5 تمثل نهاية الخط الأفقي المرسوم من 1 إلى اليمين، وتمثل نهايته المحتوى الرطوبي.



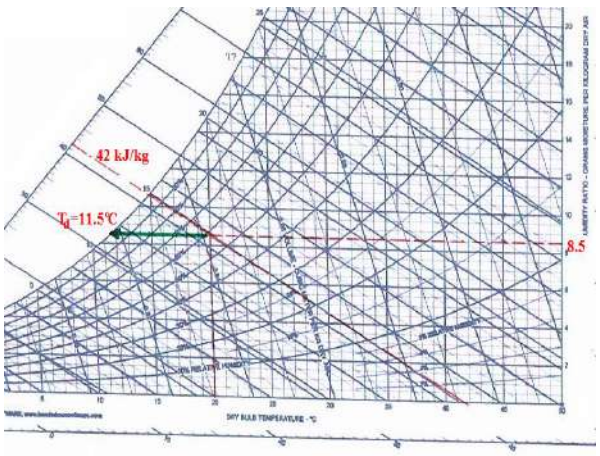
شكل 2-2 كيفية استخراج القراءات من المخطط المصردي

مثال 1

هواء درجة حرارة بصلته الجافة تساوي (20°C)، ودرجة حرارة بصلته الرطبة تساوي (15°C)، اوجد الرطوبة النسبية، المحتوى الرطوبي، الحجم النوعي، المحتوى الحراري، ونقطة الندى.

الجواب

باعتماد المخطط المصردي، نرسم خط عمودي عند درجة حرارة البصلة الجافة (20°C)، وخط مائل عند (15°C) والتي تمثل درجة حرارة البصلة الرطبة، وعند تقاطع الخطين نحصل على النقطة التي تمثل حالة الهواء، كما هو مبين في الشكل.



الرطوبة النسبية = 59%

يرسم خطاً أفقياً إلى اليمين

لاستخراج المحتوى الرطوبي

ويساوي 8.5 g_v/kg_a

الحجم النوعي 0.842 m^3/kg

المحتوى الحراري 42 kJ/kg

نقطة الندى 11.5°C

مثال 2

هواء درجة حرارة بصلته الجافة تساوي (32°C) ورطوبته النسبية تساوي 50% أوجد المحتوى الرطوبي، الحجم النوعي، المحتوى الحراري ونقطة الندى ودرجة حرارة البصلة الرطبة.

الجواب

باعتماد المخطط المصردي، يرسم خطاً عمودياً عند درجة حرارة البصلة الجافة (32°C)، وعند تقاطع الخط العمودي مع خط الرطوبة النسبية 50% يتم الحصول على النقطة التي تمثل حالة الهواء، كما هو مبين في الشكل:

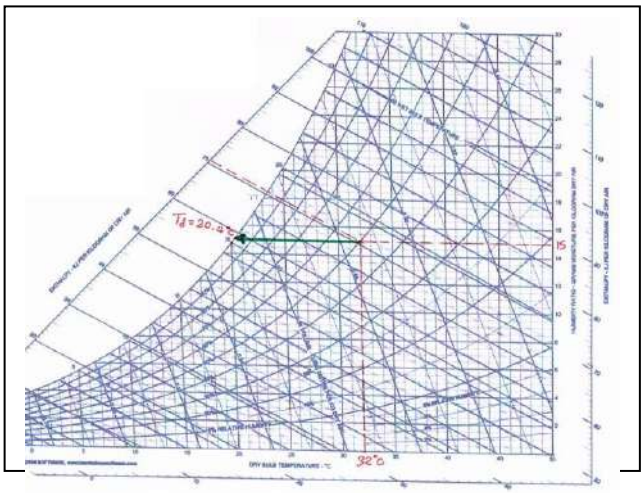
$W = 15\ g_v/kg_a$

$\upsilon = 0.885\ m^3/kg$

$h = 70.5\ kJ/kg$

$T_d = 20.4\ ℃$

Wbt=23.7 ℃



مثال 3

هواء عند درجة حرارة بصلة جافة (15°C)، ورطوبة نسبية 15% أوجد كمية بخار الماء المطلوب اضافته إلى كل كيلوغرام واحد من الهواء لإيصال الهواء إلى حالة التشبع عند درجة الحرارة نفسها.

الجواب

تحدد النقطة 1 على المخطط المصردي وذلك برسم خط عمودي من (15°C) بصلة جافة حتى تقاطعه مع الرطوبة النسبية 15%. يتم تحديد النقطة 2 وتمثل الامتداد العمودي من النقطة 1 حتى تتقاطع مع منحني التشبع. يقرأ المحتوى الرطوبي W_1 من المخطط وتساوي $1.5 g_v/kg_a$ ، وبعد ذلك يقرأ المحتوى الرطوبي W_2 من المخطط وتساوي $10.7\ g_v/kg_a$ كما هو مبين في الشكل.

$W_1 = 1.5\ g_v/kg_a$

$W_2 = 10.7\ g_v/kg_a$

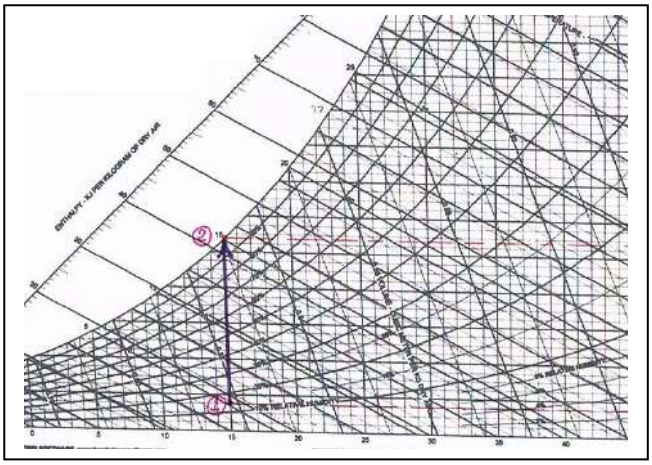
$\dot{m}_W = \dot{m}_a(\Delta W)$

$\dot{m}_W = \dot{m}_a \times (W_2 - W_1)$

$\dot{m}_W = 1 \times (10.7 - 1.5)$

$\dot{m}_W = 1 \times 9.2$

$\dot{m}_W = 9.2\ g_v/kg_a$



2-2 العمليات على المخطط المصردي Processes on Psychrometric Chart

تتكون العمليات المصردية الرئيسة في تكييف الهواء من عدد من العمليات الأساسية وعن طريق جمع بعض العمليات الأساسية نحصل على الإجراء المطلوب في تكييف الهواء، وتتكون العمليات الأساسية من الآتي:

2-2-1 خلط الهواء Adiabatic Mixing

يُعد خلط الهواء من العمليات الأساسية في تكييف الهواء، وتستعمل بكثرة في مجال التكييف، إذ يتم عادة خلط جزء كبير من هواء الغرفة البارد نوعاً ما مع الهواء الخارجي لتكوين خليط عند درجة حرارة بصلة جافة أقل من درجة حرارة الهواء الخارجي في موسم الصيف. وتُعد عملية الخلط اديباتية أي من دون فقدان حرارة من المحيط الخارجي أو اكتسابها، وتخضع عملية خلط الهواء إلى قانونين أساسيين أحدهما قانون حفظ الكتلة، أي إن الكتلة الداخلة في عملية الخلط يجب أن تساوي الكتل الخارجة من عملية الخلط. والآخر هو قانون حفظ الطاقة، أي أن الطاقات الداخلة في أثناء عملية الخلط يجب أن تساوي الطاقات الخارجة بعد عملية الخلط.

ويوضح الشكل (2-3) عملية خلط الهواء، إذ يمثل الهواء الراجع من الغرفة بالنقطة 1 في حين إن الهواء الخارجي يمثل بالنقطة 2 والخليط الناتج يمثل بالنقطة 3.

عند تطبيق قانون حفظ الكتلة نحصل على ما يلي:

$$\mathbf{m_1 + m_2 = m_3}$$

وعند تطبيق قانون حفظ الطاقة نحصل على ما يلي:

$$\mathbf{m_1 \times h_1 + m_2 \times h_2 = m_3 \times h_3}$$

ويمكن دمج القانونين أعلاه كما يأتي:

$$\mathbf{m_1 \times h_1 + m_2 \times h_2 = (m_1 + m_2) \times h_3}$$

ويكتب القانون السابق عادةً كما يأتي: $$\mathbf{h_3 = \frac{m_1 \times h_1 + m_2 \times h_2}{m_1 + m_2}}$$

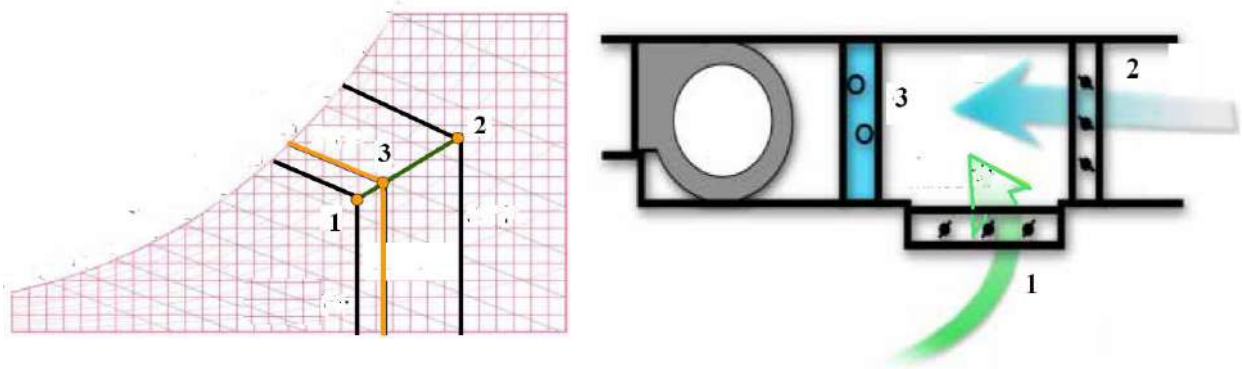
ويمكن تطبيق المعادلة أعلاه على جميع خواص الهواء وبضمنها درجة حرارة البصلة الجافة، ودرجة حرارة البصلة الرطبة، والمحتوى الرطوبي وهكذا.

$$\mathbf{T_{D3} = \frac{m_1 \times T_{D1} + m_2 \times T_{D2}}{m_1 + m_2}}$$

أو يمكن أن تكتب بدلالة المحتوى الرطوبي كما يأتي:

$$\mathbf{W_3 = \frac{m_1 \times W_1 + m_2 \times W_2}{m_1 + m_2}}$$

ويمكن تمثيل عملية خلط الهواء، وكما هو مبين في الشكل (2-3) عن طريق تعيين حالة الهواء في النقطة 1 ثم بعد ذلك نعين حالة الهواء في النقطة 2 ثم نصل النقطتين 1 و 2 بخط مستقيم، وتقع النقطة 3 على الخط الواصل بين 1 و 2، وعند تعيين أي خاصية لخليط الهواء نعينها على المخطط المصردي ونمد المستقيم حتى يتقاطع مع الخط الواصل بين 1 و 2.



شكل 2-3 عملية خلط الهواء

مثال 4

هواء راجع من الغرفة عند درجة حرارة بصلة جافة مقدارها (20°C) ودرجة حرارة بصلة رطبة مقدارها (17°C) وبمعدل تدفق 1 kg/s، يخلط مع هواء خارجي عند درجة حرارة بصلة جافة مقدارها (30°C) ودرجة حرارة بصلة رطبة مقدارها (25°C) وبمعدل تدفق مقداره 3 kg/s ، احسب المحتوى الرطوبي والمحتوى الحراري والحجم النوعي للخليط الناتج.

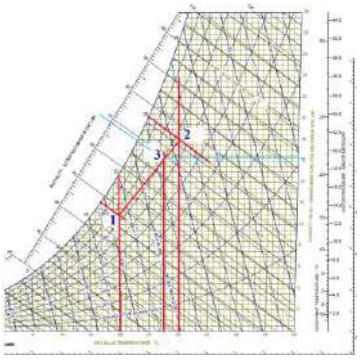
الجواب

في البداية نعين حالتي الهواء على المخطط المصردي ونصلهما بخط مستقيم وكما في الشكل أدناه. بعد ذلك نستخرج إحدى خواص الخليط، وهنا نعتمد درجة حرارة البصلة الجافة لأنها معلومة لحالتي الهواء في الدخول.

$$T_{D3} = \frac{m_1 \times T_{D1} + m_2 \times T_{D2}}{m_1 + m_2}$$

$$= \frac{1 \times 20 + 3 \times 30}{1+3} = 27.5°C$$

تعين درجة حرارة البصلة الجافة للنقطة 3 ويرسم خطاً عمودياً حتى يتقاطع مع الخط الواصل بين النقطة 1 و 2، ونقطة التقاطع تحدد حالة الهواء بعد الخلط. ويمكن قراءة الخواص الآتية من المخطط وكما يأتي:



$W_3 = 16.3\ g_v/kg_a$

$h_3 = 69\ kJ/kg$

$\upsilon_3 = 0.873\ m^3/kg$

مثال 5

هواء عند درجة حرارة بصلة جافة مقدارها (5°C)، ودرجة حرارة بصلة رطبة مقدارها (1.5°C) وبمعدل تدفق مقداره 4 kg/s، أختلط مع هواء عند درجة حرارة بصلة جافة مقدارها (40°C) ورطوبة نسبية 50% وبمعدل تدفق 1 kg/s، اوجد المحتوى الرطوبي والمحتوى الحراري والحجم النوعي بعد الخلط.

الجواب

في البداية يتم تعيين حالتي الهواء على المخطط المصردي ونصلهما بخط مستقيم وكما في الشكل أدناه.

بعد ذلك يستخرج إحدى خواص الخليط، وهنا تعتمد درجة حرارة البصلة الجافة لأنها معلومة لحالتي الهواء في الدخول.

$$T_{D3} = \frac{m_1 \times T_{D1} + m_2 \times T_{D2}}{m_1 + m_2}$$

$$= \frac{4\times5+1\times40}{4+1} = 12°C$$

تعين درجة حرارة البصلة الرطبة للنقطة 3 وترسم خطاً عمودياً حتى يتقاطع مع الخط الواصل بين النقطتين 1 و 2، ونقطة التقاطع تحدد حالة الهواء بعد الخلط.

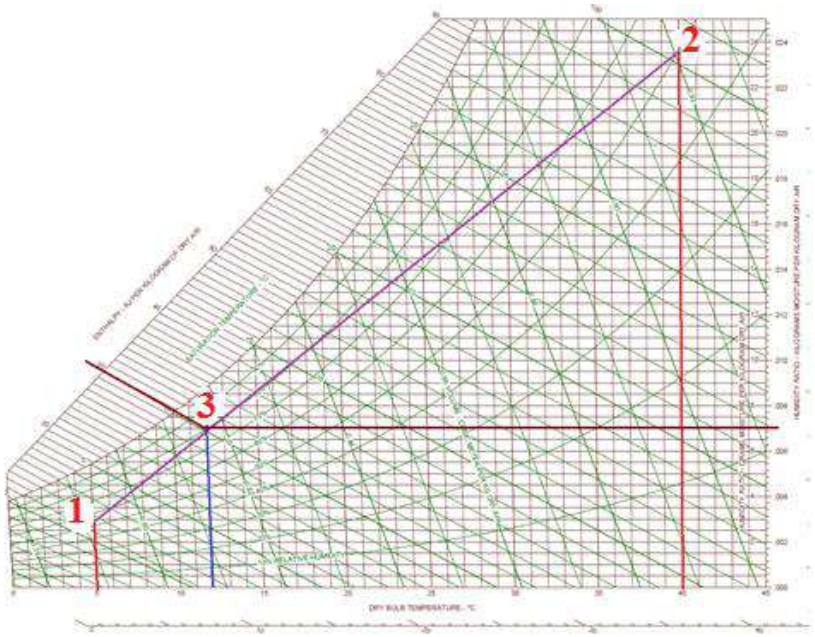
ويمكن قراءة الخواص الآتية من المخطط وكما يأتي:

$W_3 = 7\ g_v/kg_a$

$h_3 = 30\ kJ/kg$

$\upsilon_3 = 0.817\ m^3/kg$

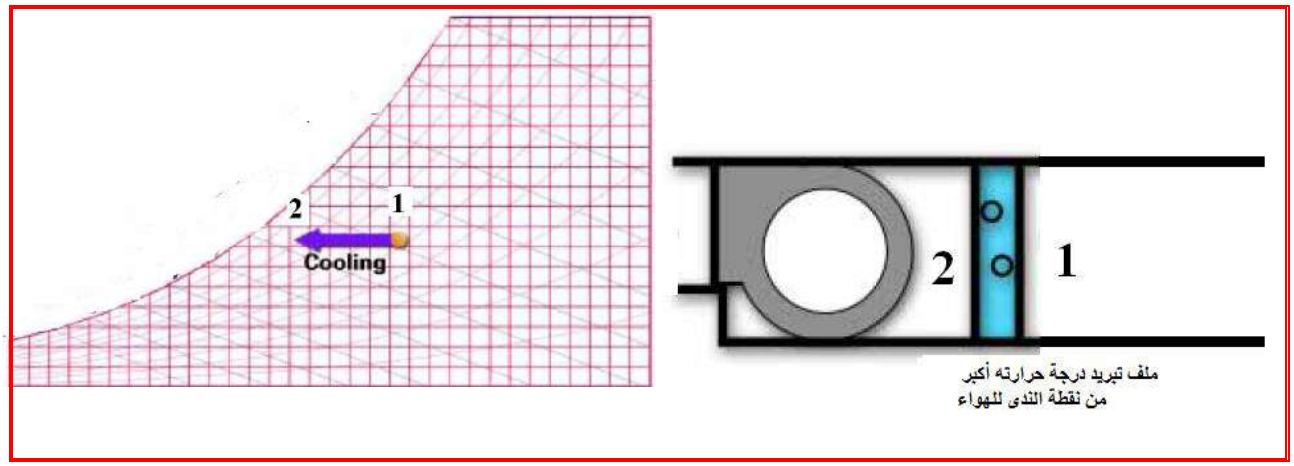
ويبين الشكل (2-4) حل المثال



شكل 2-4 حل مثال 5

2-2-2 التبريد المحسوس Sensible Cooling

يتم تبريد الهواء عن طريق مروره على ملف تبريد ذي درجة حرارة أكبر من درجة حرارة الندى للهواء المار، وهذا يؤدي إلى عدم تكثيف بخار الماء على الملف (أي أن العملية تتم بثبوت المحتوى الرطوبي). لذا يمكن تمثيل الأجراء على المخطط المصردي بخط أفقي، كما هو مبين في الشكل (2-5).



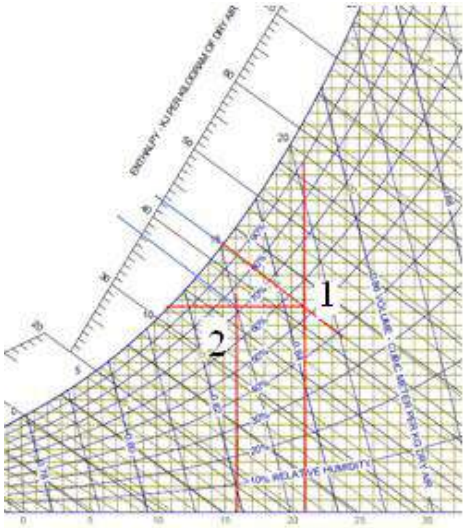
شكل 2-5 عملية التبريد المحسوس للهواء الرطب

مثال 6

احسب الحمل الحراري على ملف التبريد الذي يقوم بتبريد هواء رطب تبريدًا محسوساً بمعدل تدفق حجمي مقداره 1.5 m^3/s من درجة حرارة بصلة جافة مقدارها (21°C) و (15°C) درجة حرارة بصلة رطبة إلى (16°C) درجة حرارة بصلة جافة.

الجواب

تعين حالة الهواء في النقطة 1 ثم يرسم خطاً أفقياً بثبوت المحتوى الرطوبي يمتد إلى يسار النقطة، بعد ذلك تعين درجة حرارة بصلة جافة للنقطة 2 والتي قيمتها (16°C)، ويرسم خط عمودي حتى يتقاطع مع الخط الافقي، وتمثل نقطة التقاطع حالة الهواء بعد التبريد. وكما مبين في الشكل.
من المخطط المصردي يستخرج ما يأتي:



$h_1 = 42.5$ kJ/kg

$h_2 = 37.5$ kJ/kg

$\upsilon_1 = 0.843$ m^3/kg

$\dot{Q} = \dot{m} \times (h_1 - h_2)$

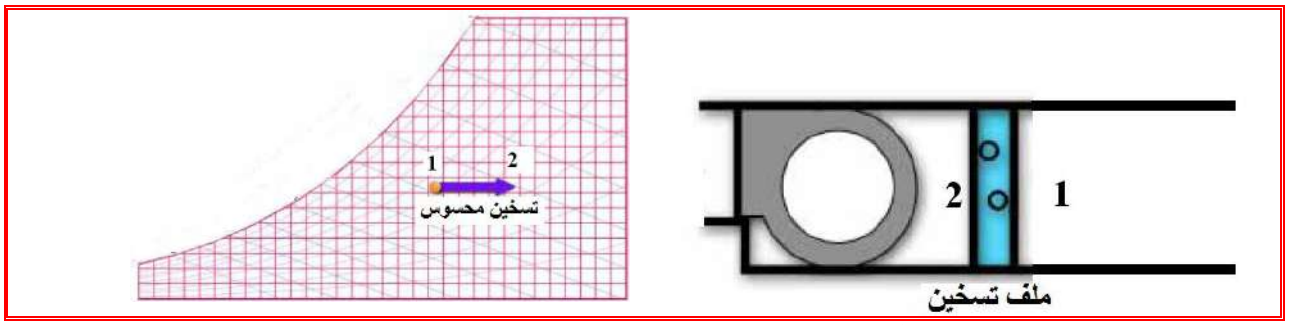
$$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{\upsilon_1} = \frac{1.5}{0.843} = 1.78 \text{ kg/s}$$

$$\dot{Q} = 1.78 \left(\frac{kg}{s}\right) \times (42.5-37.5)\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)$$

$$\dot{Q} = 8.9 \text{ kW}$$

3-2-2 التسخين المحسوس Sensible Heating

وهو مشابه لأجراء التبريد المحسوس وفيه يتم رفع درجة حرارة الهواء دون إضافة بخار ماء، أي إن العملية تتم بثبوت المحتوى الرطوبي كما تم ذكره في التبريد المحسوس، ويبين الشكل (2-6) عملية التسخين المحسوس.



شكل 2-6 عملية التسخين المحسوس للهواء الرطب

ويبين الجدول (2-1) مقارنة بين عمليتي التبريد والتسخين المحسوسين.

الخاصية	تبريد محسوس	تسخين محسوس
درجة حرارة البصلة الجافة	تنخفض	تزداد
درجة حرارة البصلة الرطبة	تنخفض	تزداد
المحتوى الحراري	ينخفض	يزداد
المحتوى الرطوبي	ثابت	ثابت
الرطوبة النسبية	تزداد	تنخفض
ضغط بخار الماء في الهواء	ثابت	ثابت
نقطة الندى	ثابتة	ثابتة

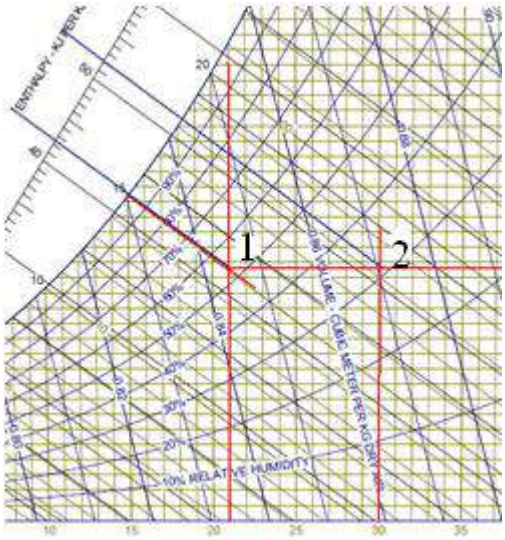
جدول(2-1) مقارنة بين عمليتي التبريد المحسوس والتسخين المحسوس

مثال 7

احسب الحمل الحراري على ملف يقوم بتسخين هواءً رطباً تسخيناً محسوساً بمعدل تدفق حجمي مقداره ($1.5\ m^3/s$) من درجة حرارة بصلة جافة مقدارها (21°C) و (15°C) درجة حرارة بصلة رطبة إلى (30°C) درجة حرارة بصلة جافة.

الجواب

تعين حالة الهواء في النقطة 1 ثم يرسم خطاً أفقياً بثبوت المحتوى الرطوبي يمتد إلى يمين النقطة، بعد ذلك تعين درجة حرارة بصلة جافة للنقطة 2 والتي قيمتها (30°C)، ويرسم خطاً عمودياً حتى يتقاطع مع الخط الافقي، وتمثل نقطة التقاطع حالة الهواء بعد التسخين، كما هو مبين في الشكل.
من المخطط المصردي يستخرج ما يأتي:



h_1= 42.5 kJ/kg

h_2= 52 kJ/kg

υ_1 =0.843 m^3/kg

$\dot{Q}= \dot{m}\times(h_2- h_1)$

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{\upsilon} = \frac{1.5}{0.843} = 1.78 \text{ kg/s}$$

$\dot{Q}$ = 1.78×(52-42.5)

$\dot{Q}$ = 16.9 kW

4-2-2 إزالة الرطوبة Dehumidification

وهي عملية إزالة كمية من بخار الماء المصاحب للهواء الرطب، وتتم هذه العملية بعدة طرائق هي:

أ- تبريد الهواء إلى درجة حرارة أدنى من نقطة الندى

ب- إمرار الهواء على مادة ماصة للرطوبة (عملية امتصاص) (Absorption)

ج- إمرار الهواء على مادة مازة للرطوبة (عملية أمتزاز) (Adsorption)

د- ضغط الهواء مع التبريد

سيتم شرح الطريقة الأولى فقط لأهميتها، أما باقي الطرائق فسيتناولها الطالب في مراحل دراسية لاحقة.

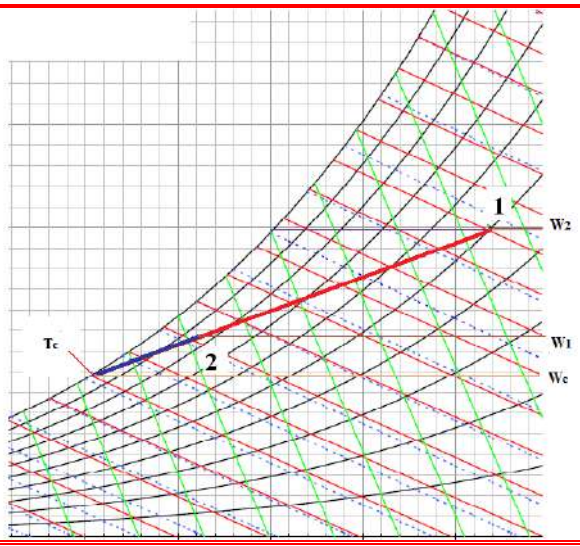
2-2-4-1 تبريد الهواء إلى درجة حرارة أدنى من نقطة الندى

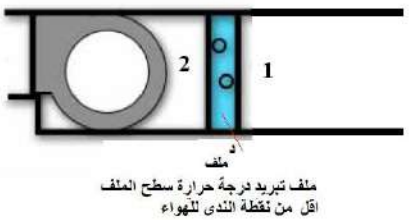
وتستعمل هذه الطريقة في مجال تكييف الهواء بكثرة، وفيها يتم إزالة الرطوبة عن طريق تبريد الهواء دون درجة حرارة نقطة الندى للهواء.

يبين الشكل (2-7) مخططاً لهواء مار على ملف تبريد درجة حرارة سطحه أقل من نقطة الندى للهواء المار. ويلاحظ انخفاض درجة حرارة البصلة الجافة للهواء فضلاً عن انخفاض المحتوى الرطوبي للهواء. وسبب انخفاض المحتوى الرطوبي هو تكثف بخار الماء المصاحب للهواء على ملف التبريد.

ويلاحظ إن مسار الهواء من 1 إلى 2 يتبع الخط الواصل بين النقطة 1 ودرجة حرارة الملف، ولكن لا يمكن للنقطة 2 أن تنطبق على درجة حرارة الملف، وذلك بسبب مرور جزء من الهواء الرطب على سطح الملف دون أن يبرد، وتسمى هذه الحالة بمعامل الأمرار للملف وتتراوح قيمته ما بين (0.2-0.05)، ويلاحظ إن نسبة الهواء غير المبرد تساوي المسافة الواصلة بين 2 و درجة حرارة الملف إلى المسافة بين 1 و درجة حرارة الملف. أي أن معامل الأمرار الجانبي يساوي:

$$BF = \frac{T_{D2} - T_c}{T_{D1} - T_c}$$





شكل 2-7 إزالة الرطوبة من الهواء عن طريق التبريد دون نقطة الندى للهواء

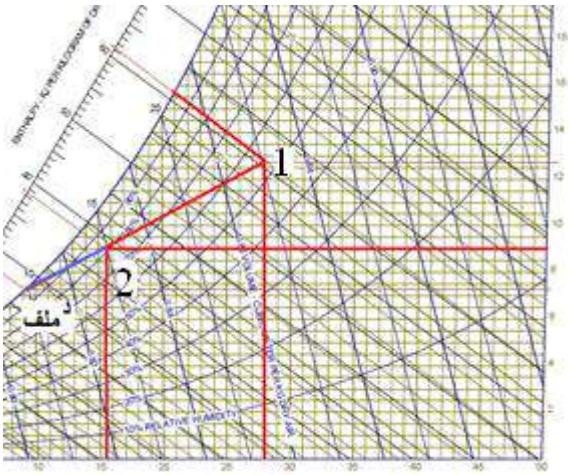
مثال 8

احسب الحمل الحراري على ملف التبريد، درجة حرارة ملف التبريد، معامل الإمرار الجانبي، وكمية الرطوبة المزالة من ملف التبريد الذي يقوم بتبريد هواء من (28°C) درجة حرارة بصلة جافة و (21°C) درجة حرارة بصلة رطبة إلى (15.5°C) درجة حرارة بصلة جافة ومحتوى رطوبي (9 g_v/kg_{air}) ، علماً أن معدل التدفق الحجمي للهواء يساوي (2 m^3/s) .

الجواب

تعين حالة الهواء في النقطة 1 ثم تعين حالة الهواء للنقطة 2، ثم يرسم خطاً مستقيماً يصل بين النقطة 1 والنقطة 2. بعد ذلك يمد الخط حتى يتقاطع مع خط التشبع وكما هو مبين في الشكل.

من المخطط المصردي يستخرج ما يأتي:



h_1= 61 kJ/kg

h_2= 38 kJ/kg

υ_1=0.87 m^3/kg

W_1= 12.8 g_v/kg_a

W_2= 9 g_v/kg_a

$\dot{Q}= \dot{m}\times(h_1- h_2)$

$$\dot{m}= \frac{\dot{V}}{\upsilon} = \frac{2}{0.87} = 2.3 \text{ kg/s}$$

$\dot{Q}$ = 2.3×(61-38)

$\dot{Q}$ = 52.9 kW

تستخرج درجة حرارة الملف عند تقاطع الخط مع منحني التشبع وتساوي (9°C)

$$BF = \frac{T_{D2} - T_c}{T_{D1} - T_c} = \frac{15.5-9}{28-9} = 0.34$$

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a \times (W_1 - W_2) = 2.3 \times (12.8 - 9) = 8.74 \text{ } g_w/s$$

ملاحظة: يتم وضع المقدار الأكبر في البداية دائماً تجنباً للإشارة السالبة في الناتج.

مثال 9

هواء يتدفق بمعدل (5 kg/s) عند درجة حرارة بصلة جافة مقدارها (30°C) ودرجة حرارة بصلة رطبة (22°C)، على ملف تبريد درجة حرارته (6°C)، ويخرج الهواء من الملف عند درجة حرارة بصلة جافة مقدارها (15°C)، اوجد كمية بخار الماء المتكثف، معامل الإمرار الجانبي للملف، وسعة ملف التبريد.

الجواب:

تعين حالة الهواء في النقطة 1 ثم تعين حالة الهواء للنقطة 2 وذلك بتقاطع درجة الحرارة (15°C) مع امتداد الخط الواصل بين النقطة 1 ونقطة حالة التشبع (6°C)، ثم يرسم خط مستقيم يصل بين النقطة 1 والنقطة 2. بعد ذلك يمد الخط حتى يتقاطع مع خط التشبع وكما هو مبين في الشكل.

من المخطط المصردي يستخرج ما يأتي:

$h_1 = 65$ kJ/kg

$h_2 = 36.5$ kJ/kg

$W_1 = 13.5\ g_v/kg_{air}$

$W_2 = 8.5\ g_v/kg_{air}$

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a \times (W_1 - W_2)$$

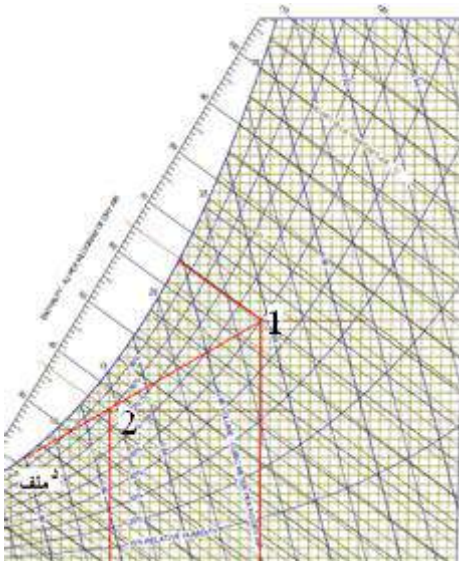
$$\dot{m}_w = 5 \times (13.5 - 8.5) = 25\ g_w/s$$

$$BF = \frac{T_{D2} - T_c}{T_{D1} - T_c} = \frac{15-6}{30-6} = 0.375$$

$$\dot{Q} = \dot{m} \times (h_1 - h_2)$$

$$\dot{Q} = 5 \times (65 - 36.5)$$

$$\dot{Q} = 142.5\ Kw$$



5-2-2 الترطيب Humidification

وفيه يتم إضافة بخار ماء إلى الهواء لتحقيق راحة الإنسان، وتتم عملية الترطيب بطريقتين وهي:

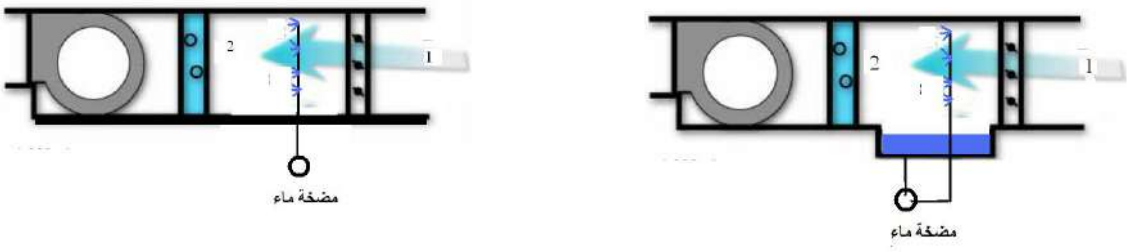
أ- الترطيب بإعادة تدوير الماء Water Circulation

ب- الترطيب عن طريق ضخ البخارSteam Injection

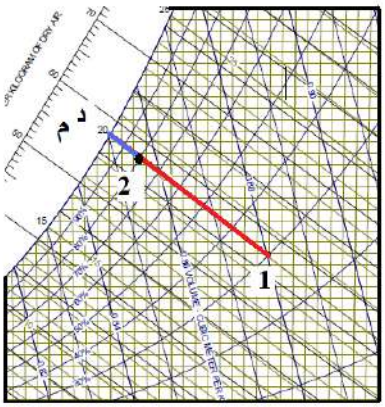
ولكثرة استخدام الترطيب بإعادة تدوير الماء وخصوصاً في العراق (مبردات الهواء Air Cooler) سيتم شرحها في هذه الفقرة وتترك الطريقة الثانية في مراحل دراسية لاحقة.

1-5-2-2 الترطيب بإعادة تدوير الماء Water Circulation

وتكون إما بإعادة تدوير ماء عند درجة حرارة تساوي درجة حرارة البصلة الرطبة للهواء في أثناء مسار الهواء، وإما عن طريق حقن الماء بصورة رذاذ دقيق في مجرى الهواء، وفي كلا الطريقتين تتبع عملية الترطيب خط ثبوت درجة حرارة البصلة الرطبة، وكما هو مبين في الشكل (2-8). وتسمى هذه العملية أيضاً بالتبريد التبخيري Evaporative Cooling، وهو المبدأ نفسه الذي تعمل عليه مبردة الهواء.



أ- ترطيب الهواء بإعادة تدوير الماء ب- ترطيب الهواء بضخ الماء بصورة رذاذ



ج- إجراء الترطيب بثبوت درجة حرارة البصلة الرطبة للهواء

شكل 2-8 ترطيب الهواء

وعادة لا يخرج الهواء بعد عملية الترطيب بحالة تشبع 100%، ويعود سبب ذلك إلى أن كفاءة الترطيب (η_H) لا يمكن أن تصل إلى الحالة المثالية ويمكن حساب كفاءة الترطيب وكما يأتي:

$$\eta_H = \frac{T_{D1} - T_{D2}}{T_{D1} - T_{water}}$$

مثال 10

هواء يمر بمعدل ($1\ m^3/s$) عند درجة حرارة بصلة جافة مقدارها (15°C)، ودرجة حرارة بصلة رطبة مقدارها (10°C)، يدخل غرفة ترطيب بتدوير الماء، فإذا كانت كفاءة الترطيب تساوي 90%، وكانت درجة حرارة الماء في الخزان تساوي (10°C)، احسب حالة الهواء بعد خروجه من غرفة الترطيب، وكمية الماء المضافة إلى الهواء.

الجواب:

يمكن حساب درجة حرارة البصلة الجافة للهواء الخارج من قانون كفاءة الترطيب كما يأتي:

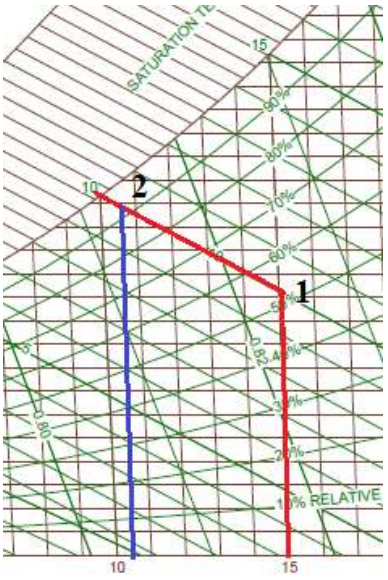
$$\eta_H = \frac{T_{D1} - T_{D2}}{T_{D1} - T_{water}}$$

$$0.9 = \frac{\mathbf{15 - T_{D2}}}{\mathbf{15 - 10}}$$

$$0.9 \times 5 = 15 - T_{D2}$$

$$T_{D2} = 15 - 4.5 = 10.5°C$$

ومن خلال المخطط المصردي نعين النقطة 1
ويرسم خط من النقطة 1 يصل إلى النقطة 2 بتقاطع درجة الحرارة المستنتجة وباتجاه ثبوت درجة حرارة البصلة الرطبة، كما هو مبين في الشكل المجاور.
يمكن قراءة الخواص الآتية من المخطط المصردي:



حالة الهواء

$TD_2=10.5^0C$ $W_1 = 5.5\ g_v/kg_a$

$TW_2=10^0C$ $W_2 = 7.5\ g_v/kg_a$

$W_2 = 7.5\ g_v/kg_a$ $\upsilon_1 = 0.823\ m^3/kg$

$h_2=29.5kj/kg$ $\dot{m} = \frac{\dot{V}}{\upsilon} = \frac{1}{0.823} = 1.21\frac{kg}{s}$

$RH_2=95\%$ $\dot{m}_w = \dot{m}_a \times (W_2 - W_1)$

$\dot{m}_w = 1.21 \times (7.5 – 5.5) = 2.42\ g_w/s$

$\upsilon_2 = 0.813\ m^3/kg$

مثال 11

هواء يمر بمعدل ($2\ m^3/s$) عند درجة حرارة بصلة جافة مقدارها (24°C)، ودرجة حرارة بصلة رطبة مقدارها (11°C)، يدخل غرفة ترطيب بتدوير الماء، ويخرج الهواء من غرفة الترطيب عند درجة حرارة بصلة جافة مقدارها (12°C)، احسب كفاءة الترطيب وكمية الماء المضافة إلى الهواء.

الجواب:

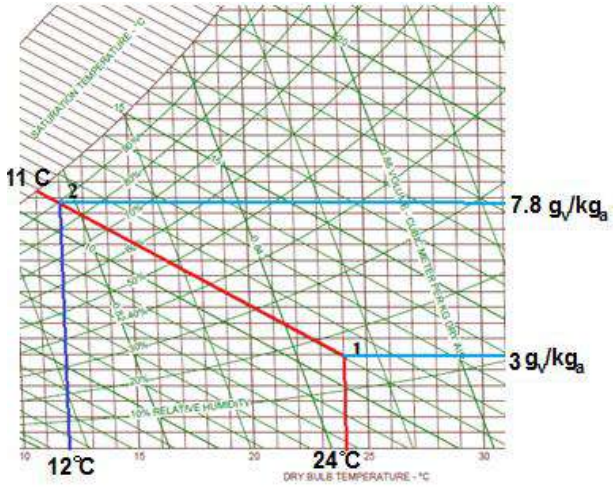
تعين النقطة 1 ثم يرسم خط من النقطة 1 على امتداد خط ثبوت درجة حرارة البصلة الرطبة (11°C) إلى ان يتقاطع مع منحني التشبع، وبعد ذلك نعين النقطة 2 عن طريق رسم خط عمودي من درجة حرارة البصلة الجافة (12°C) ، وتقاطع الخط العمودي مع خط ثبوت درجة حرارة البصلة الرطبة يمثل النقطة 2.

خواص الهواء:

$W_1 = 3\ g_v/kg_a$

$W_2 = 7.8\ g_v/kg_a$

$\upsilon_1 = 0.846\ m^3/kg$



$$\eta_H = \frac{T_{D1} - T_{D2}}{T_{D1} - T_{water}}$$

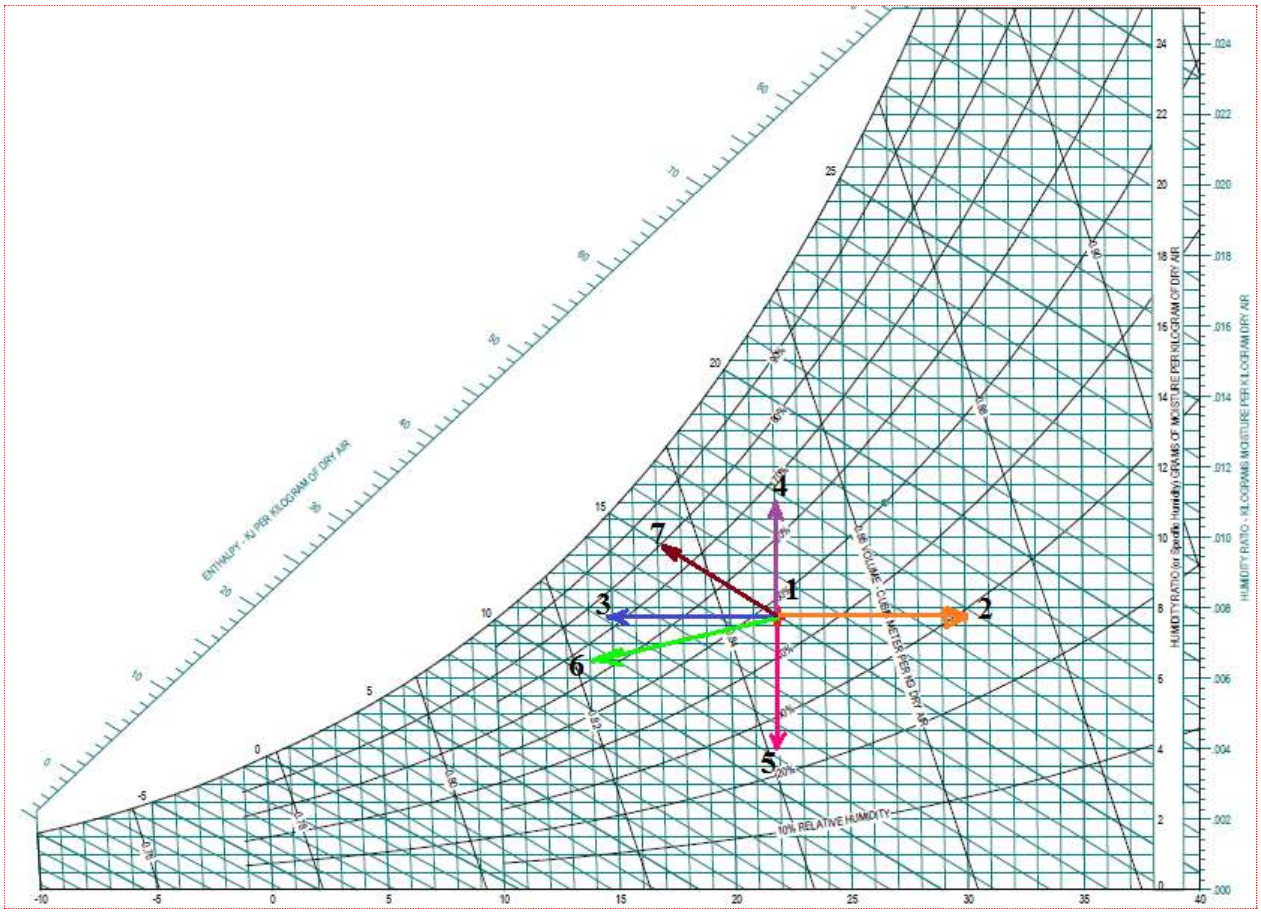
$$\eta_H = \frac{24-12}{24-11} = 0.923 = 92.3\%$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{\upsilon} = \frac{2}{0.846} = 2.36\ kg/s$$

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a \times (W_2 - W_1)$$

$\dot{m}_w = 2.36 \times (7.8 – 3)$

$\dot{m}_w = 11.33\ g_w/s$



ويبين الشكل (2-9) خلاصة عمليات تكييف الهواء على المخطط المصردي

الإجراء	العملية
2-1	تسخين محسوس
3-1	تبريد محسوس
4-1	ترطيب بحقن البخار
5-1	إزالة رطوبة بالامتصاص أو الامتزاز
6-1	تبريد وإزالة رطوبة
7-1	ترطيب بإعادة تدوير الماء أو حقن الماء

شكل 2-9 خلاصة العمليات على المخطط المصردي

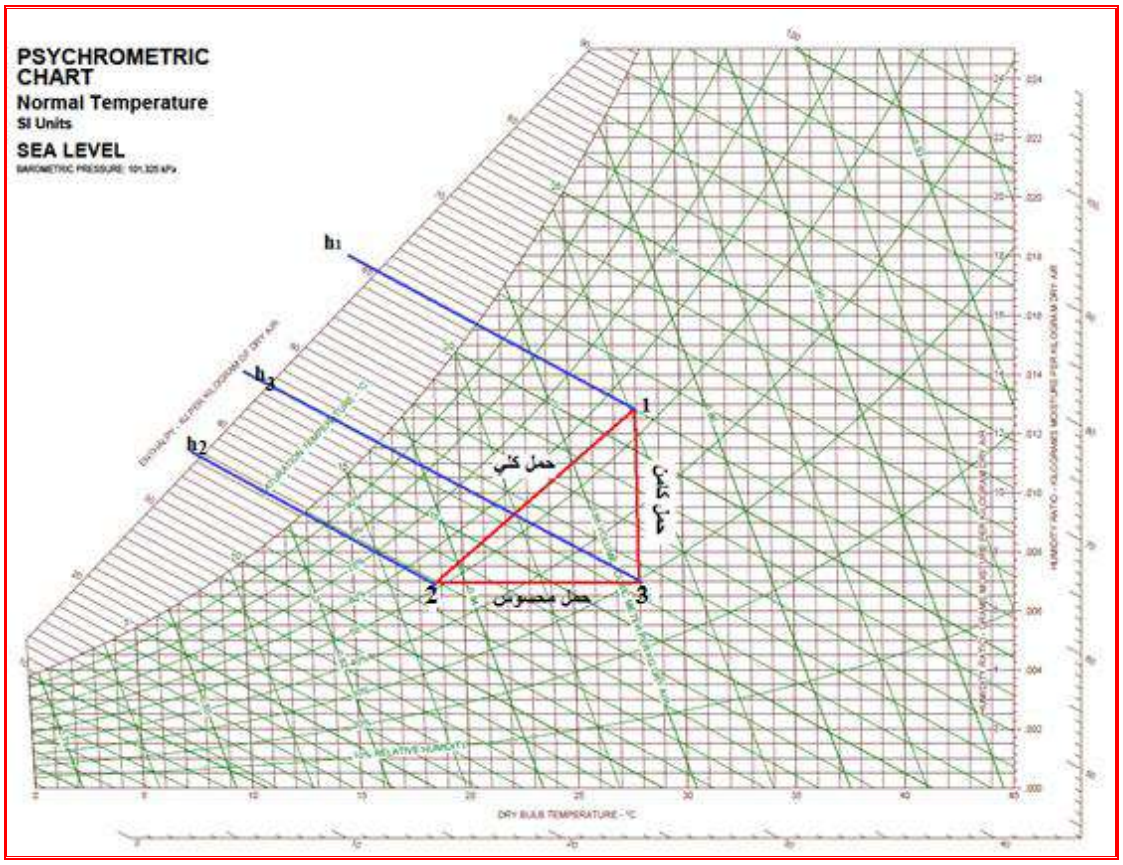
3-2 تطبيقات على العمليات المصردية

1-3-2 الأحمال الحرارية المحسوسة والكامنة والكلية Sensible, Latent and Total Loads

يعرّف **الحمل الحراري المحسوس** بأنه الحمل الذي يقوم بزيادة درجة حرارة البصلة الجافة للهواء أو نقصانها مع بقاء المحتوى الرطوبي للهواء ثابتاً، ومثال ذلك التبريد والتسخين المحسوسان، إذ يتم تمثيل الحمل الحراري المحسوس بصورة خط أفقي يرسم على المخطط المصردي.

أما **الحمل الحراري الكامن** فهو الحمل الذي يقوم بزيادة المحتوى الرطوبي للهواء أو نقصانه مع بقاء درجة حرارة البصلة الجافة للهواء ثابتاً، ومثال ذلك ترطيب الهواء بطريقة ضخ البخار أو إزالة الرطوبة من الهواء بطريقة الامتصاص أو الامتزاز.

أما **الحمل الحراري الكلي** فانه ناتج من جمع الحمل المحسوس والحمل الكامن للهواء، ومثال ذلك إزالة الرطوبة من الهواء عن طريق تبريده من دون نقطة الندى وترطيب الهواء عن طريق إعادة تدوير الماء، ويبين الشكل (2-10) الحمل الحراري المحسوس والكامن والكلي.



شكل 2-10 الأحمال الحرارية المحسوسة والكامنة والكلية

ومن خلال الشكل (2-10) يتم حساب الأحمال الحرارية وكما يأتي:
الحمل الحراري المحسوس

$$Q_s = \dot{m} \times (h_3 - h_2) \quad \text{or} \quad Q_s = \dot{m} \times C_{pa} \times (T_{D3} - T_{D2})$$

إذ أن C_{pa} يمثل الحرارة النوعية بثبوت الضغط للهواء (kJ/kg.°C)

الحمل الحراري الكامن

$$\dot{Q}_L = \dot{m} \times (h_1 - h_2) \quad \text{or} \quad \dot{Q}_L = \dot{m} \times 2500 \times (W_1 - W_2)$$

المحتوى الحراري لبخار الماء المشبع يعتمد على درجة الحرارة، تُؤخذ بالتقريب (2500 kJ/kg)

إما الحمل الحراري الكلي

$$\dot{Q}_T = \dot{Q}_s + \dot{Q}_L \quad \text{or} \quad \dot{Q}_T = \dot{m} \times (h_1 - h_3)$$

إذ أن:

$\dot{m}$	معدل تدفق الكتلة	kg/s
h	الأنثالبي النوعي	kJ/kg
$\dot{Q}_T$	الحرارة الكلية المنتقلة	kW
$\dot{Q}_s$	الحرارة المحسوسة المنتقلة	kW
$\dot{Q}_L$	الحرارة الكامنة المنتقلة	kW

وتُعتمد صيغة نسبة الحرارة المحسوسة Sensible Heat Factor (SHF)، وهو النسبة بين الحمل الحراري المحسوس إلى الحمل الحراري الكلي:

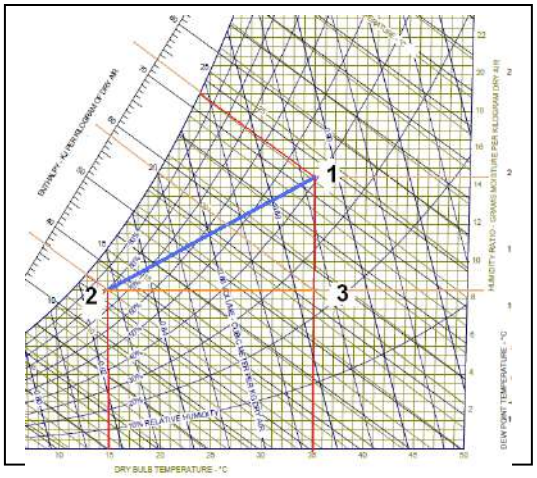
$$SHF = \frac{\dot{Q}_s}{\dot{Q}_T}$$

مثال 12

هواء عند درجة حرارة بصلة جافة مقدارها (35°C) ودرجة حرارة بصلة رطبة مقدارها (24°C)، يمر على ملف تبريد واصبحت حرارته بعد الملف (15°C) درجة حرارة بصلة جافة و (13°C) درجة حرارة بصلة رطبة، فإذا كان معدل مرور الهواء يساوي (2.5 m^3/s)، اوجد الحمل الحراري المحسوس والكامن والكلي ونسبة الحرارة المحسوسة لعملية التكييف.

الجواب:

تعين النقطة 1 والنقطة 2 ويصل بينهما بخط مستقيم، وكما هو مبين في الشكل:



$h_1 = 72.2$ kJ/kg , $W_1 = 14.2$ g_v/kg_a

$v_1 = 0.892$ m^3/kg

$h_2 = 37$ kJ/kg , $W_2 = 8.5$ g_v/kg_a

$h_3 = 58$ kJ/kg , $W_3 = 8.5$ g_v/kg_a

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{\upsilon} = \frac{2.5}{0.892} = 2.8 \text{ kg/s}$$

الحمل الحراري المحسوس:

$$Q_s = \dot{m} \times (h_3 - h_2)$$
$$Q_s = 2.8 \times (58 - 37) = 58.8 \text{ kW}$$
or
$$Q_s = \dot{m} \times C_{pa} \times (T_{D3} - T_{D2})$$
$$Q_s = 2.8 \times 1.05 \times (35 - 15) = 58.8 \text{ kW}$$

الحمل الحراري الكامن:

$$Q_L = \dot{m} \times (h_1 - h_3)$$
$$Q_L = 2.8 \times (72.2 - 58) = 39.9 \text{ kW}$$
or
$$Q_L = \dot{m} \times 2500 \times (W_1 - W_2)$$
$$Q_L = 2.8 \times 2500 \times (14.2 - 8.5) = 39.9 \text{ kW}$$

الحمل الحراري الكلي:

$$Q_T = Q_s + Q_L$$
$$Q_T = 58.8 + 39.9 = 98.7 \text{ kW}$$
or
$$Q_T = \dot{m} \times (h_1 - h_2)$$
$$Q_T = 2.8 \times (72.2 - 37) = 98.7 \text{ kW}$$

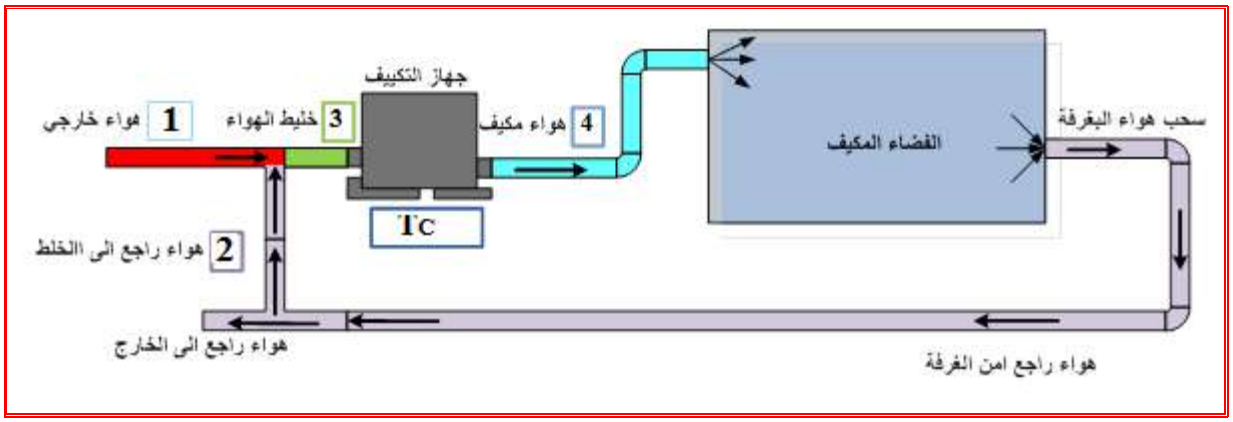
نسبة الحرارة المحسوسة

$$SHF = \frac{Q_s}{Q_T}$$
$$SHF = \frac{58.8}{98.7} = 0.595 = 59.5\%$$

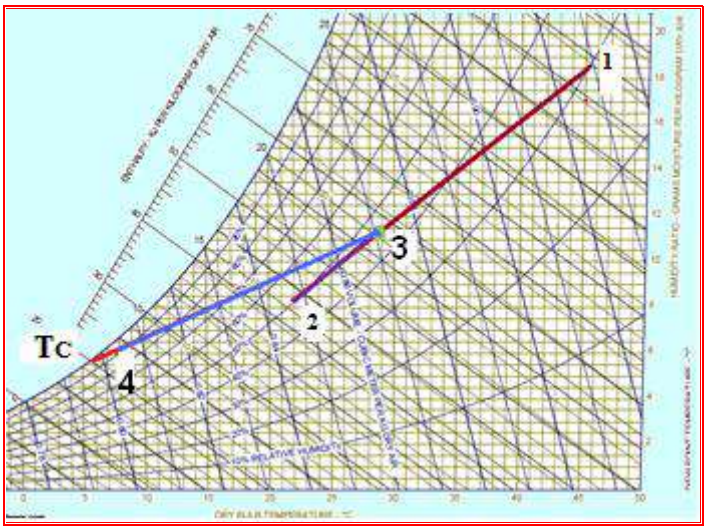
2-3-2 دورة التكييف الاعتيادية Typical Air-Conditioning Cycle

دورة الصيف Summer Cycle

تتكون دورة التكييف الاعتيادية لمكيف الهواء من عدد من الإجراءات الأساسية التي تم ذكرها، ومن جمع جزء من هذه الإجراءات يمكن الحصول على دورة تكييف تحقق لنا ظروف الغرفة المطلوبة. ويبين الشكل (2-11) دورة تكييف بسيطة تتكون من عملية خلط الهواء ومن ثم تبريد الهواء وإزالة الرطوبة بحيث يكون الهواء المجهز عند النقطة 4 ملائم لظروف الغرفة، حيث يتم خلط جزء من هواء الغرفة عند ظروف النقطة 1 مع الهواء الخارجي عند ظروف النقطة 2، وتكون ظروف الخليط عند النقطة 3، بعد ذلك يمر خليط الهواء على ملف تبريد جهاز التكييف، إذ تكون درجة حرارة الملف (T_C)، وبعد ذلك يخرج الهواء من الجهاز عند حالة التجهيز 4.



أ- دورة تكييف بسيطة



ب- مخطط دورة التكييف البسيطة على المخطط المصردي

شكل 2-11 دورة التكييف الاعتيادية

مثال13

في نظام تكييف للهواء يتم خلط (1 kg/s) من الهواء الخارجي عند (32°C) بصلة جافة، و (23°C) بصلة رطبة، مع (3 kg/s) من هواء الغرفة عند (24°C) بصلة جافة، و 50% رطوبة نسبية، ثم يبرد الخليط عبر ملف تبريد إلى 90% رطوبة نسبية، فإذا كانت درجة حرارة الملف تساوي (7°C)، اوجد درجة حرارة البصلة الجافة الخارجة من الملف، سعة ملف التبريد، الحمل الحراري المحسوس ،الحمل الحراري الكامن للملف، نسبة الحرارة المحسوسة ومعامل الإمرار.

الجواب

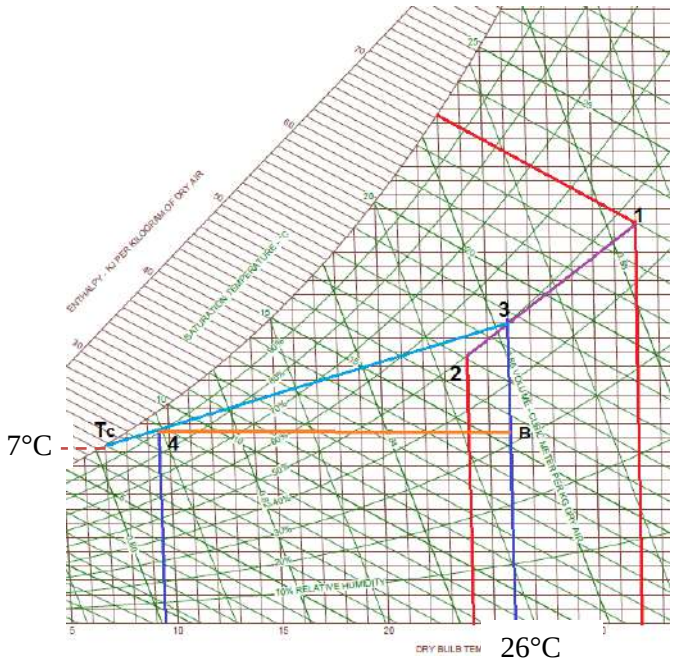
تعين النقطة 1 (T_{D1}=32°C) و (T_{W1}=23°C)، والنقطة 2 (T_{D2}=24°C) و (RH_2=50%)
وتحسب درجة حرارة البصلة الجافة لنقطة الخليط 3 من المعادلة الآتية:

$$T_{D3} = \frac{m_1 \times T_{D1} + m_2 \times T_{D2}}{m_1 + m_2}$$

$$T_{D3} = \frac{1 \times 32 + 3 \times 24}{1 + 3} = 26°C$$

يرسم خطاً عمودياً من (26°C) إلى أن يقطع الخط 1-2، تمثل نقطة التقاطع حالة الخليط عند النقطة 3 ، يصل خطاً مستقيماً بين النقطة 3 ودرجة حرارة الملف (7°C)، ويمثل تقاطع الخط المستقيم (Tc-3) مع منحني الرطوبة النسبية 90% حالة الهواء بعد ملف التبريد (أي النقطة 4).
من الشكل يحصل على المعلومات الآتية:

$h_3 = 53$ kJ/kg , $h_4 = 27$ kJ/kg
$h_B = 43.8$ kJ/kg



درجة حرارة البصلة الجافة للهواء الخارج من الملف:

$T_{D4} = 10°C$

$Q_T = \dot{m} \times (h_3 - h_4)$

$Q_T = 4 \times (53 - 27) = 104$ kW

$Q_s = \dot{m} \times (h_B - h_4) = 4 \times (43.8 - 27) = 67.2$ kW

$Q_L = Q_T - Q_s = 104 - 62 = 36.8$ kW

نسبة الحرارة المحسوسة

$$SHF = \frac{Q_s}{Q_T} = \frac{67.2}{104} = 0.646 = 64.6\%$$

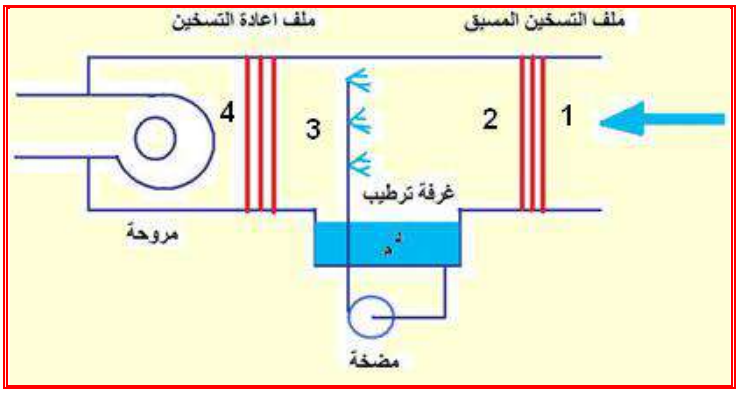
$$BF = \frac{T_{D4} - T_c}{T_{D3} - T_c}$$

$$BF = \frac{10-7}{26-7} = 0.157$$

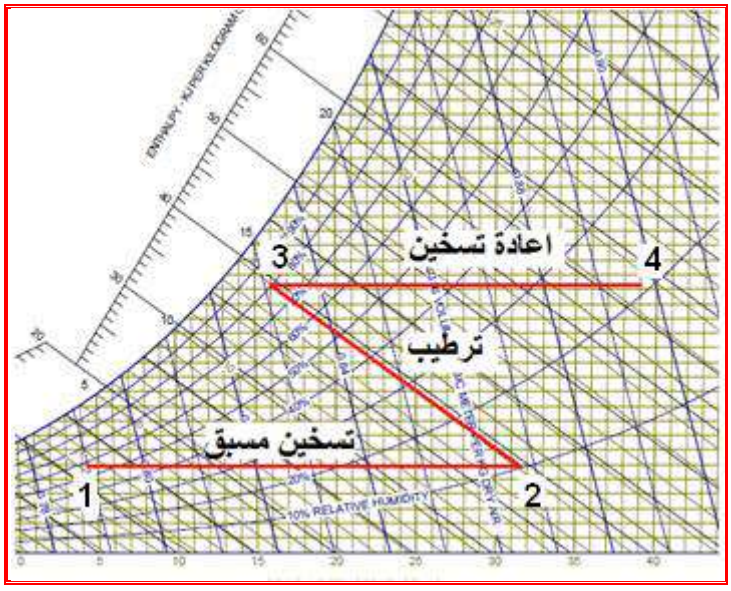
3-3-2 دورة الشتاء Winter Cycle

التسخين المسبق والترطيب وإعادة التسخين Preheating, Humidification and Reheating

تُعتمد هذه العملية في الشتاء، إذ إن تسخين الهواء تسخيناً محسوساً يؤدي إلى انخفاض الرطوبة النسبية داخل الغرفة، مما يولد عدم راحة لشاغلي الغرفة، لذا يعمد إلى تسخين الهواء تسخيناً مبدئيا لتكون له القابلية على استقبال بخار الماء، وبعد عملية التسخين الابتدائي يضاف بخار الماء عن طريق إعادة تدوير الماء، وبما إن إضافة بخار الماء بواسطة إعادة تدوير الماء تؤدي إلى انخفاض في درجة حرارة البصلة الجافة للهواء، لذا يتم إعادة تسخين الهواء مرة أخرى، ويبين الشكل (2-12) المنظومة والأجراء على المخطط المصردي.



أ- منظومة التسخين المسبق والترطيب وإعادة التسخين



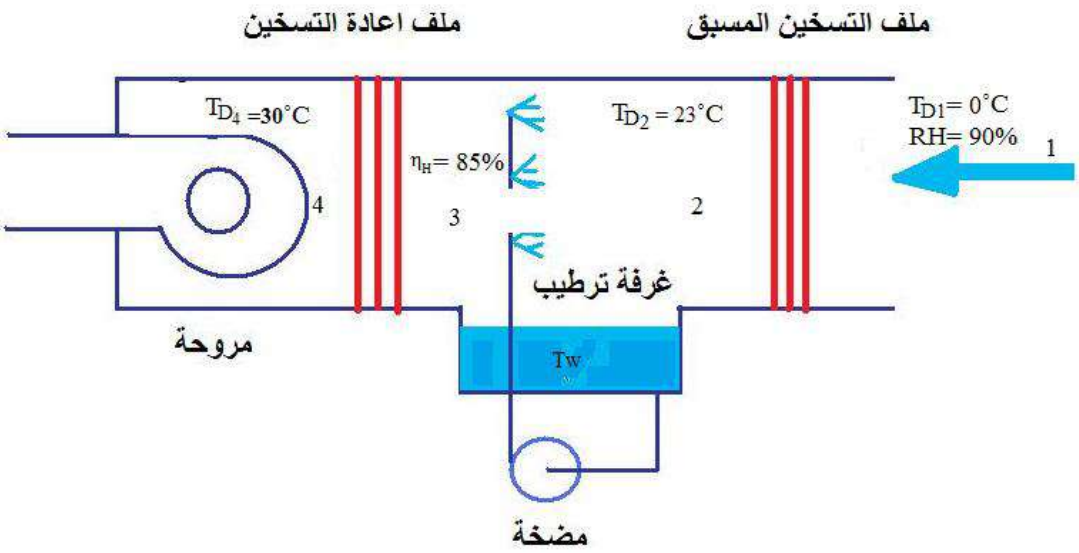
ب – إجراء التسخين المسبق والترطيب وإعادة التسخين

شكل 2-12 التسخين المسبق والترطيب وإعادة التسخين

مثال 14

هواء عند درجة حرارة بصلة جافة مقدارها (0°C) ورطوبة نسبية مقدارها 90%، يسخن ابتدائيا إلى (23°C) درجة حرارة بصلة جافة، وبعد ذلك يمر في غرفة ترطيب بكفاءة ترطيب مقدارها 85%، ثم يعاد تسخينه إلى (30°C)، فإذا كان معدل مرور الهواء يساوي (2.5 kg/s)، اوجد الحمل الحراري لملف التسخين المسبق وملف إعادة التسخين وكمية الماء المضافة إلى الهواء.

الجواب



تعين النقطة 1 (RH_1 = 90%, T_{D1} = 0°C) ومن النقطة 1 يرسم خطاً أفقياً إلى اليمين ليتقاطع مع الخط العمودي المرسوم من درجة حرارة بصلة جافة تساوي (23°C)، وتمثل نقطة التقاطع حالة الهواء بعد التسخين الابتدائي (أي النقطة 2)، مواصفات النقطة 2 هي (T_{D2} = 23°C) و (T_{W1}=11°C)، يرسم من النقطة 2 خط ثبوت درجة حرارة البصلة الرطبة التي تساوي (11°C) إلى أن يتقاطع مع منحني التشبع.

بعد ذلك تحدد حالة الهواء بعد الترطيب (أي النقطة 3) باعتماد قانون كفاءة الترطيب.

$$\eta_H = \frac{T_{D2} - T_{D3}}{T_{D2} - T_{water}}$$

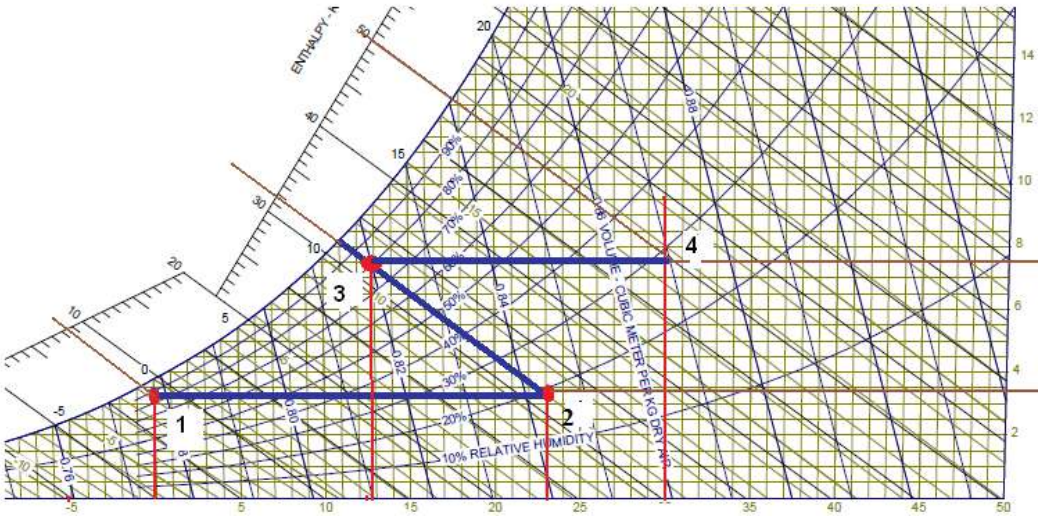
$$0.85 = \frac{23 - T_{D3}}{23 - 11}$$

$$0.85 \times (23\text{-}11) = 23 - T_{D3}$$

$$10.2 = 23 - T_{D3}$$

$$T_{D3} = 23 - 10.2 = 12.8°C$$

يرسم خطاً عمودياً من (12.8°C) إلى أن يتقاطع مع خط ثبوت درجة حرارة البصلة الرطبة عندها تعين النقطة 3 ، ومنها يرسم خطاً أفقياً إلى اليمين حتى يتقاطع مع الخط العمودي المرسوم من (30°C). ونقطة التقاطع تمثل حالة الهواء بعد ملف إعادة التسخين، أي النقطة 4.



من الشكل السابق يمكن تحديد حالة الهواء في كل نقطة وكما يأتي:

point	T_D (°C)	T_W (°C)	h (kJ/kg)	W (g_v/kg_a)
1	0	-0.8	8.5	3.4
2	23	11	31.5	3.4
3	12.8	11	31.5	7.5
4	30	17.8	50	7.5

الحمل الحراري لملف التسخين المسبق

$$Q = \dot{m} \times (h_2 - h_1) = 2.5 \times (31.5 - 8.5) = 57.5 \text{ kW}$$

الحمل الحراري لملف إعادة التسخين

$$Q_s = \dot{m} \times (h_4 - h_3) = 2.5 \times (50 - 31.5) = 46.25 \text{ kW}$$

كمية الماء المضافة

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a \times (W_3 - W_2) = 2.5 \times (7.5 - 3.4) = 10.25 \text{ } g_w/s$$

4-2 متطلبات راحة الإنسان Human Comfort

إن مجال الدرجة الحرارية لجسم الإنسان يتراوح بين (36-38°C). فعند تعرض جسم الإنسان إلى درجة حرارة أكبر من درجة حرارة الجسم، يقوم الجهاز العصبي للجسم بتمديد الأوعية الدموية الدقيقة التي تقع تحت جلد الإنسان، مما يؤدي إلى زيادة ضخ الدم إلى هذه الأوعية وبالتالي تعمل على التخلص من حرارة الجسم الزائدة، وعند فشل هذه العملية يقوم الجسم بطرح العرق على الجلد، للتخلص من الحرارة الزائدة عن طريق تبخر العرق. أما عند انخفاض درجة الحرارة عن المعدل الطبيعي، فإن الجسم يبدأ بعملية مشابهة لما ذكر في أعلاه، إذ يقوم الدم بتدفئة الأماكن الباردة للجسم، وعند فشل هذه العملية وخوفاً على انخفاض درجة حرارة الجسم أكثر من المسموح به، تبدأ الأوعية الدموية تحت جلد الإنسان بالانكماش لمنع مرور الدم وبالتالي الحد من فقدان الحرارة من الجسم.

ويعرف الارتياح الحراري بأنه الحالة التي يشعر بها الإنسان بالرضا والنشاط مع البيئة الحرارية المحيطة به. وهنالك عوامل أساسية يجب توفرها لغرض توفير الارتياح الحراري للإنسان.

1-4-2 العوامل الأساسية التي تؤثر على راحة الإنسان

هنالك ستة عناصر تؤثر على راحة الإنسان بنحوٍ أساسي، منها أربعة عناصر بيئية هي:

أ- درجة حرارة البصلة الجافة Dry Bulb Temperature

ب- متوسط درجة الحرارة الإشعاعية Mean Radiant Temperature

ج- الرطوبة النسبية Relative Humidity

د- سرعة الهواء Air Velocity

وهنالك عنصران شخصيان تتعلقان بالشخص نفسه هما:

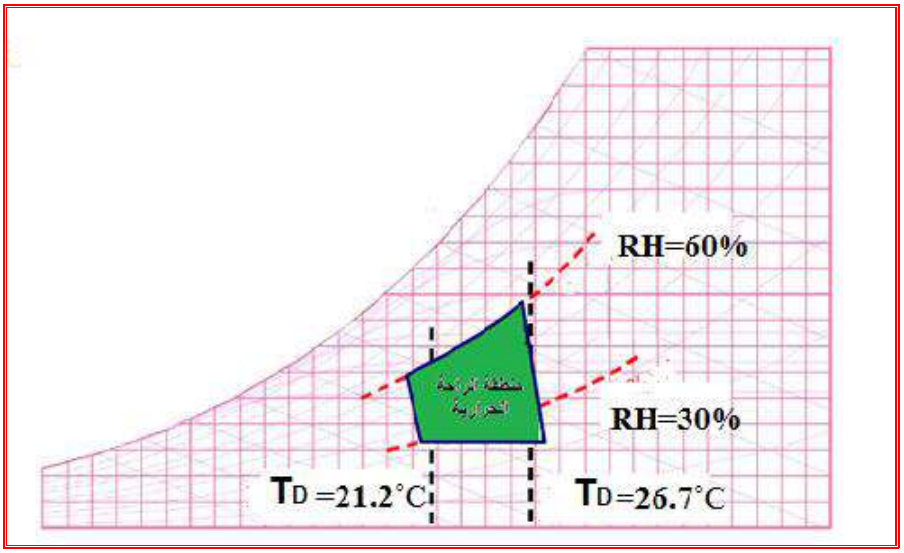
هـ - العزل نتيجة الملابس Clothes Insulation

و- مستوى حركة الشخص Level of Activity

وبعد دراسة العوامل السابقة تم تحديد منطقة راحة الإنسان على المخطط المصردي، وكما هو مبين في الشكل (2-13)، ويلاحظ من الشكل إن حدود راحة الإنسان تنحصر بالمنطقة المحددة بدرجتي حرارة البصلة الجافة (21.2°C) و (26.7°C)، ورطوبة نسبية بين 30 إلى 60%. أي أن حدود راحة الإنسان هي عندما تتراوح درجة حرارة البصلة الجافة للمحيط من (21°C) إلى (26°C)، والرطوبة النسبية لهواء الغرفة تتراوح من 30 إلى 60%.

أما بالنسبة لسرعة الهواء المسموح بها التي تحقق راحة الإنسان فهي (0.15 m/s).

كثيراً ما يشعر الإنسان بعدم الارتياح إذا تعرض لإشعاع حراري مباشر من الشمس أو مصدر حراري، حتى وان كانت الظروف الأخرى تحقق راحة الإنسان، وفضلاً على الشروط الستة السابقة المذكورة يجب تحقيق الشروط الصحية لنوعية الهواء وهي الكمية الطبيعية من الأوكسجين وخلوه من الغبار والروائح والملوثات الأخرى.



شكل 2-13 المخطط المصردي موضح عليه الحدود التي تحقق راحة الإنسان

أسئلة الفصل الثاني

س1: عيّن ما يأتي على المخطط المصردي واوجد جميع خواص الهواء:

- هواء عند درجة حرارة بصلة جافة (25°C)، ودرجة حرارة بصلة رطبة (22°C)
- هواء عند درجة حرارة بصلة جافة (5°C)، ومحتوى حراري (10 kJ/kg).
- هواء في حالة تشبع عند درجة حرارة مقدارها (25°C).

س2: املأ الخواص المفقودة في الجدول أدناه:

درجة حرارة		حجم نوعي	رطوبة نسبية	المحتوى الرطوبي	المحتوى الحراري	نقطة الندى
بصلة جافة (°C)	بصلة رطبة (°C)	m^3/kg	%	g/kg_a	kJ/kg	(°C)
33	25					
40			40			
	30	0.92				
25					40	
	20			10		
28						15

س3: احسب الحمل الحراري لتسخين هواء رطب تسخيناً محسوساً عند درجة حرارة بصلة جافة مقدارها (12°C) وبصلة رطبة مقدارها (7°C) إلى درجة حرارة بصلة جافة مقدارها (37°C)، علماً إن معدل تدفق الهواء الحجمي هو ($1\ m^3/s$). ج/ 31.5 kW

س4: احسب حمل ملف التبريد اللازم لتبريد هواء رطب تبريداً محسوساً بمقدار (8°C) وعند ظروف (25°C) درجة حرارة بصلة جافة و(10°C) درجة حرارة بصلة رطبة، إذا علمت إن معدل تدفق الهواء الحجمي هو ($2\ m^3/s$). ج/ 18.9 kW

س5: سخن هواء تسخيناً محسوساً من درجة حرارة بصلة جافة مقدارها (10°C)، ورطوبة نسبية 70%، إلى (25°C) درجة حرارة بصلة جافة، أوجد خواص الهواء بعد التسخين.

ج/ $T_{W2}=14°C,\ v_2=0.852 m^3/kg,\ W_2= 5.5\ g_v/kg_a,\ h_2=39\ kJ/kg,\ RH_2=28\%$

س6: مرر هواء بمعدل ($0.25\ m^3/s$) عند درجة حرارة بصلة جافة مقدارها (35°C)، ورطوبة نسبية مقدارها (30%) على ملف تبريد، وانخفضت درجة حرارة البصلة الجافة للهواء بعد التبريد المحسوس إلى (16°C)، احسب سعة ملف التبريد. ج/ 5.32 kW

س7: يمر هواء بمعدل ($12\ m^3/s$) على ملف تبريد عند درجة حرارة بصلة جافة مقدارها (30°C) ودرجة حرارة بصلة رطبة مقدارها (24°C)، ظروف الهواء بعد ملف التبريد هي درجة حرارة بصلة جافة مقدارها (15°C) ورطوبة نسبية (90%)، أوجد سعة الملف، كمية بخار الماء المتكثف، ومعامل الإمرار للملف. ج/ BF=0.333 92.3 g_w/s, 448.3 kW,

س8: في وحدة تكييف يتم خلط (0.8 kg/s) من الهواء الخارجي عند درجة حرارة بصلة جافة مقدارها (40°C)، ودرجة حرارة بصلة رطبة مقدارها (28°C)، مع (2.4 kg/s) من الهواء الراجع عند درجة حرارة بصلة جافة مقدارها (24°C)، ورطوبة نسبية مقدارها (50%)، أوجد حالة الهواء بعد الخلط.

ج/ T_{D3}=28°C, v_3= 0.87 m^3/kg, W_3= 12 g_v/kg_a, h_3= 58 kJ/kg RH_3=48%

س9: اجب **بصح** على العبارة الصحيحة **وخطأ** على العبارة الخاطئة:

أ- عملية التبريد المحسوس تؤدي إلى زيادة المحتوى الرطوبي.

ب- عملية التبريد المحسوس تؤدي إلى زيادة الرطوبة النسبية.

ج- عملية التسخين المحسوس تؤدي إلى زيادة الرطوبة النسبية.

د- تقل الرطوبة النسبية للهواء عند إزالة رطوبته بالتبريد.

س10: ارسم ما يأتي على المخطط المصردي:

أ	**تسخين محسوس للهواء**	ب	**تبريد وإزالة الرطوبة**
ج	**تبريد تبخيري**	د	**تسخين مسبق وترطيب وإعادة تسخين**

س11: هواء عند (12°C) بصلة جافة و (20%) رطوبة نسبية، يتم تسخينه تسخيناً محسوساً إلى (37°C) بصلة جافة، ثم يتم ترطيبه بإعادة تدوير الماء إلى أن تصل رطوبته النسبية (90%)، احسب الحمل الحراري لملف التسخين وكفاءة الترطيب لكل كيلو غرام واحد من الهواء. ج/ 25 kW, 95.4%

س12: هواء يمر بمعدل (1 m^3/s) عند (45°C) درجة حرارة بصلة جافة و (25°C) درجة حرارة بصلة رطبة، على ملف تبريد ويبرد تبريداً محسوساً إلى (38°C) درجة حرارة بصلة جافة، ثم يرطب ترطيباً أديباتياً بواسطة غرفة ترطيب كفاءة ترطيبها (90%)، احسب كمية الماء المضافة إلى الهواء، والحمل الحراري لملف التبريد. ج/ 5.99 g_w/s, 7.7 kW

س13: غرفة عند (24°C) درجة حرارة بصلة جافة ورطوبة نسبية (50%)، يخلط مع هواء خارجي عند (4°C) بصلة جافة ورطوبة نسبية (50%)، بنسبة (40%) هواء الغرفة إلى (60%) هواء خارجي، بعد ذلك يسخن الخليط بواسطة ملف كهربائي إلى (30°C) درجة حرارة بصلة جافة، أوجد الحمل الحراري لملف التسخين لكل كيلو غرام واحد من الهواء. ج/ 18 kW

س14: في وحدة تكييف يتم خلط (0.8 kg/s) من الهواء الخارجي عند (40°C) بصلة جافة و(28°C) بصلة رطبة، مع (2.4 kg/s) من الهواء الراجع عند (24°C) بصلة جافة و (50%) رطوبة نسبية، يبرد الخليط الناتج بملف تبريد درجة حرارته (8°C)، ومعامل الإمرار الجانبي للملف يساوي (0.2)، احسب سعة ملف التبريد وكمية الرطوبة المسحوبة. ج/ 86.4 kW, 12.89 g_w/s

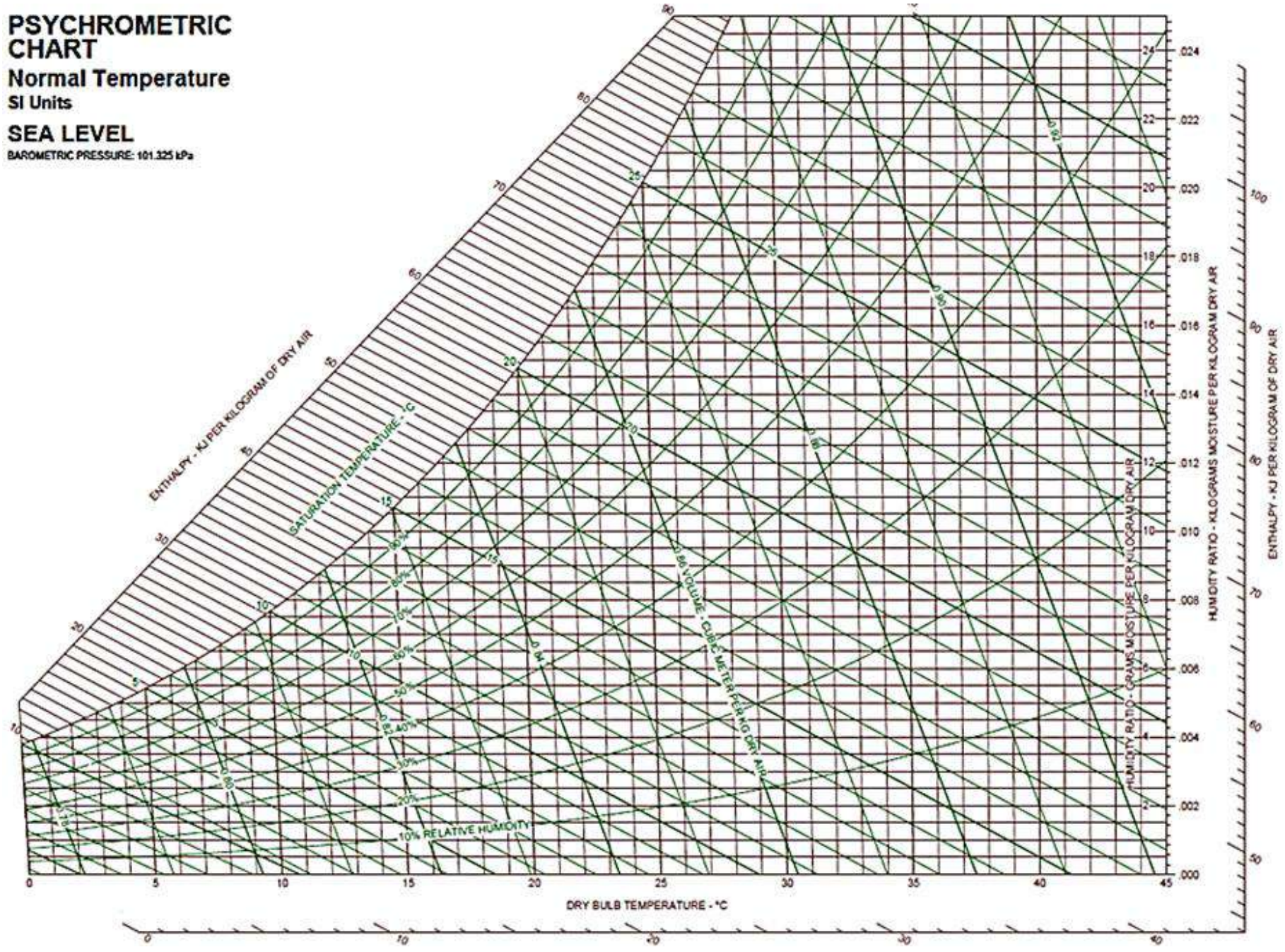
PSYCHROMETRIC CHART

Normal Temperature

SI Units

SEA LEVEL

BAROMETRIC PRESSURE: 101.325 kPa



الفصل الثالث

حمل التدفئة Heating Load

1-3 الحرارة وطرائق انتقالها

الحرارة نوع من أنواع الطاقة تنتقل من جسم إلى آخر إذا وجد فرق في درجات الحرارة بين الجسمين. وتنتقل الحرارة بين الأجسام بثلاث طرائق، هي التوصيل والحمل والإشعاع.

1-1-3 انتقال الحرارة بالتوصيل Conduction Heat Transfer

يسمى انتقال الحرارة خلال الوسط الصلب أو السائل في حال وجود فرق في درجات الحرارة في ذلك الوسط بانتقال الحرارة بالتوصيل، ويعتمد معدل انتقال الحرارة بالتوصيل (**Q**) خلال وسط معين على سمك المادة ΔL ، مساحة مقطع المادة **A**، ومعامل التوصيل الحراري للمادة **K**، وفرق درجات الحرارة ΔT عبر ذلك الوسط. فمن المُلاحظ أن مقابض أواني الطبخ تغلف بمادة من اللدائن الصلبة لتقليل انتقال الحرارة من المقبض إلى اليد التي تحمل الأواني. ويمكن كتابة القانون الخاص بانتقال الحرارة بالتوصيل والذي يسمى بقانون (فوريير) كما يأتي:

$$Q = k \times A \times \frac{\Delta T}{\Delta L}$$

إذ إن :

Q	كمية الحرارة المنتقلة بالتوصيل	**W**
K	معامل التوصيل الحراري	**W/m.℃**
A	مساحة مقطع انتقال الحرارة	m^2
ΔT	فرق درجات الحرارة	**℃**
ΔL	سمك المادة	**m**

2-1-3 انتقال الحرارة بالحمل Convection Heat Transfer

يُعد انتقال الحرارة بتيارات الحمل من الطرائق المهمة لانتقال الحرارة، إذ يقسم انتقال الحرارة بالحمل على قسمين:

أ- **الحمل الحر Natural Convection**: وفيه يعمل اختلاف درجات الحرارة على إحداث فرق في كثافة المائع في مناطق مختلفة، مما يؤدي إلى صعود جزيئات المائع الساخنة ذات الكثافة القليلة إلى الأعلى، في حين تنتقل جزيئات المائع ذات الكثافة الأكبر إلى الأسفل، وتؤدي هذه العملية إلى انتقال الحرارة من المكان الساخن إلى آخر أقل سخونة.

ب- **الحمل القسري Forced Convection**: وفيه يتم انتقال الحرارة نتيجة لحركة المائع بوساطة وسيلة ميكانيكية، مثل المراوح التي تستخدم بكثرة في مكيفات الهواء ومبردات الهواء.

3-1-3 انتقال الحرارة بالإشعاع Radiation Heat Transfer

يمكن للحرارة أن تنتقل عبر موجات كهرومغناطيسية، كما في المدافئ النفطية والكهربائية، ولا تحتاج الموجات الكهرومغناطيسية إلى وسط لانتقالها كما في انتقال الحرارة بالتوصيل والحمل، ومن المعروف إن أشعة الشمس تصل إلى الكرة الأرضية عبر مسافات طويلة ضمن الفضاء الخارجي ولهذا تنتقل الحرارة من الشمس إلى الأرض عن طريق الإشعاع.

2-3 معامل التوصيل الحراري ومعامل انتقال الحرارة

Thermal Conductivity and Heat Transfer Coefficient

1-2-3 معامل التوصيل الحراري Thermal Conductivity (k)

يعرف معامل التوصيل الحراري بأنه قابلية المادة على إيصال الحرارة خلال سمك المادة لفرق درجة حرارة مقداره ($1^{\circ}C$)، وتصنف المواد بصورة عامة إلى مواد جيدة للتوصيل الحراري ورديئة للتوصيل الحراري، وبعبارة أخرى إن معامل التوصيل الحراري للمادة يحدد كفاءة المادة في انتقال الحرارة، إذ أن المواد ذات معامل التوصيل الحراري العالي تكون مواد جيدة للتوصيل الحراري والعكس صحيح. إن النحاس موصل جيد للحرارة والخشب عازل للحرارة، فلو اطلعنا على معامل التوصيل الحراري للنحاس نجده يساوي ($401\ W/m.^{\circ}C$)، في حين أنه للخشب يساوي ($0.17\ W/m.^{\circ}C$). إذاً معامل التوصيل الحراري للمادة يؤدي دوراً كبيراً في انتقال الحرارة عبر المادة. وعند حساب كمية الحرارة المنتقلة للمواد غير المتجانسة (كالطابوق المثقب، والكتل الخرسانية المجوفة، وغيرها من المواد) يؤخذ معامل المواصلة الحرارية (C) ووحدته ($W/m^2.^{\circ}C$)، بدلاً من معامل التوصيل الحراري (k) لذلك الغرض. ويبين الجدول (3-1) معامل التوصيل الحراري.

2-2-3 معامل انتقال الحرارة الإجمالي Overall Heat Transfer Coefficient (U)

يختلف معامل التوصيل الحراري عن معامل انتقال الحرارة الإجمالي **ويعرف بأنه كمية الحرارة المنتقلة لوحدة المساحة لفرق درجات حرارة مقداره ($1^{\circ}C$)**. ووحدة معامل انتقال الحرارة (U) هي ($W/m^2{}^{\circ}C$)، ويُعتمد معامل انتقال الحرارة الإجمالي في حال تعدد طبقات المادة التي تنتقل خلالها الحرارة، وفي حسابات الحرارة المنتقلة خلال الجدران يعتمد معامل انتقال الحرارة غالباً بدلاً من معامل التوصيل الحراري، والاختلاف بين المعاملين بالتطبيق فحسب، إذ يُعتمد معامل التوصيل الحراري للمواد المتجانسة، أما معامل انتقال الحرارة الإجمالي يُعتمد للجدران المركبة. إذ يكتب قانون انتقال الحرارة اعتماداً على معامل انتقال الحرارة كما يأتي:

$$Q = U \times A \times \Delta T$$

إذ إن:

Q	كمية الحرارة المنتقلة بالتوصيل	W
U	معامل انتقال الحرارة الإجمالي	$W/m^2.°C$
A	مساحة مقطع انتقال الحرارة	m^2
ΔT	فرق درجات الحرارة	°C

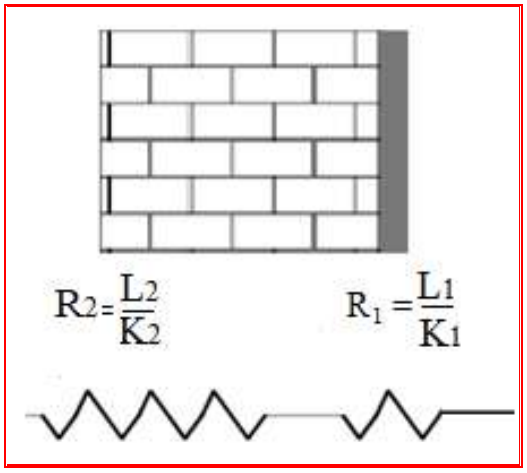
3-2-3 حساب معامل انتقال الحرارة الإجمالي

إن حساب كمية الحرارة اعتماداً على معامل انتقال الحرارة الإجمالي هو أكثر سهولة مما لو استخدم معامل التوصيل الحراري لكل مادة في المعادلة، لذا نعمد إلى تحويل معامل التوصيل الحراري إلى معامل انتقال الحرارة الإجمالي، ويتم ذلك عن طريق الآتي:

في حال تكون الجدار من عدة طبقات تعامل كل طبقة كأنها مقاومة حرارية، وقيمة المقاومة الحرارية **(R)** تساوي حاصل قسمة سمك الجدار على معامل التوصيل الحراري للجدار:

$$R = \frac{L}{k}$$

فلو أُخذ جداراً يتكون من طبقتين مثلاً كما هو مبين في الشكل (3-1) يكتب قانون المقاومات الحرارية كما يأتي، وعلى هذا الأساس تكون المقاومة الكلية مساوية لمجموع المقاومتين.



شكل 3-1 جدار مكوّن من طبقتين

$$R_T = R_1 + R_2$$

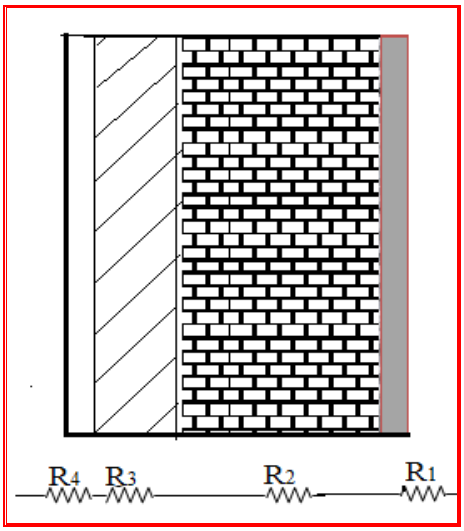
ويمكن كتابة قانون المقاومة الحرارية الكلية كما يأتي:

$$R_T = \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2}$$

وبما إن معامل التوصيل الحراري الإجمالي هو مقلوب المقاومة الحرارية الكلية، إذاً يكتب قانون معامل انتقال الحرارة الإجمالي كما يأتي:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2}}$$

أما إذا كان الجدار يتكون من أكثر من طبقتين فيمكن تطبيق القانون السابق وتجمع المقاومات الحرارية لكل طبقة وكما يأتي:



ويمكن كتابة المقاومة الحرارية لكل طبقة كما يأتي:

$$R_1 = \frac{L_1}{k_1} \qquad R_2 = \frac{L_2}{k_2} \qquad R_3 = \frac{L_3}{k_3} \qquad R_4 = \frac{L_4}{k_4}$$

أما المقاومة الحرارية الكلية فتكتب كما يأتي:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

ويكتب معامل انتقال الحرارة الإجمالي:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} + \frac{L_4}{k_4}}$$

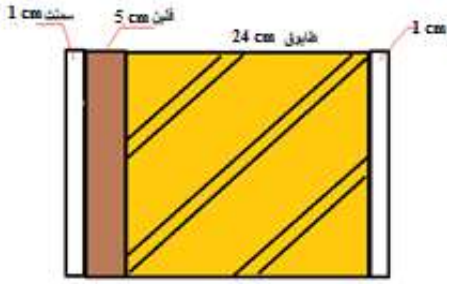
إذ أن:

R_T	المقاومة الحرارية الكلية	$m^2.°C/W$
R_1	المقاومة الحرارية لطبقة الجدار الأولى	$m^2.°C/W$
L_1	سمك طبقة الجدار الأولى	m
k_1	معامل التوصيل الحراري لطبقة الجدار الأولى	W/m.°C

مثال 1

أوجد معامل انتقال الحرارة الإجمالي لجدار يتكون من الداخل إلى الخارج مما يأتي، طبقة جبس سمك (1 cm)، وطابوق عادي سمك (24 cm)، وفلين سمك (5 cm) وطبقة من الإسمنت سـمك (1 cm).

الجواب



تطبق المعادلة الخاصة بالمقاومة الكلية:

$$R_T = \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} + \frac{L_4}{k_4}$$

قيم معامل التوصيل الحراري من جدول(3-1)

1- الجبس k_1=0.8 W/m°C ، L_1= 0.01 m

2- الطابوق k_2=0.72 W/m°C ، L_2= 0.24 m

3- الفلين k_3=0.036 W/m°C ، L_1= 0.05 m

4- الإسمنت k_4= 0.72 W/m°C ، L_1= 0.01 m

$$R_T = \frac{0.01}{0.8} + \frac{0.24}{0.72} + \frac{0.05}{0.036} + \frac{0.01}{0.72}$$

$$R_T = 0.0125 + 0.333 + 1.388 + 0.013 = 1.7465 \ m^2.°C/W$$

$$U = 1/ R_T = \frac{1}{1.7465} = 0.572 \ W/m^2.°C$$

3-2-4 معامل انتقال الحرارة للسطحين الداخلي والخارجي

Inside and Outside Thermal Conductance Coefficients

فضلاً على المقاومة الحرارية لمواد البناء هنالك معوقات أخرى لسريان الحرارة عبر الجدار، ومن هذه المعوقات هي المقاومة الداخلية والخارجية لطبقتي الهواء الغشائيين الملاصق للجدران والسقوف.

وعند إدخال المقاومة الحرارية للهواء الخارجي (f_0) والمقاومة الحرارية للهواء الداخلي (f_i) ضمن معادلة المقاومة الحرارية لمواد البناء، يتم الحصول على المقاومة الحرارية الكلية للجدار، التي تمثل معوق سريان الحرارة من هواء الغرفة عند درجة حرارة الغرفة إلى الهواء الخارجي عند درجة حرارة الهواء الخارجي.

ويبين الجدول (3-2) معامل انتقال الحرارة لطبقتي الهواء الداخلية والخارجية لعدة حالات.

ويجب تعديل معادلة حساب المقاومة الحرارية الكلية للجدران لتشمل كلاً من المقاومة الحرارية الخارجية والداخلية لغشاء الهواء الملاصق للجدران والسقوف وكما يأتي:

أ- للجدران والسقوف الداخلية غير المعرضة إلى الفضاء الخارجي:

$$R_T = \frac{2}{f_i} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} + \frac{L_4}{k_4}$$

ب- للجدران والسقوف المعرضة إلى الفضاء الخارجي:

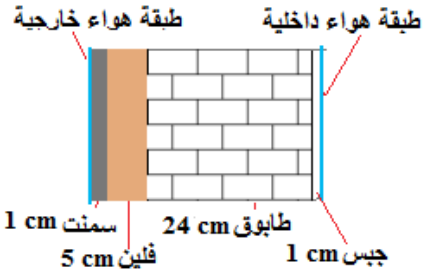
$$R_T = \frac{1}{f_i} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} + \frac{L_4}{k_4} + \frac{1}{f_o}$$

ويمكن اعتماد المعادلتين السابقتين معادلتين نهائيتين لحساب معامل انتقال الحرارة الإجمالي للجدران والسقوف المركبة.

مثال 2

أوجد معامل انتقال الحرارة لجدار يتكون من الداخل إلى الخارج مما يأتي، طبقة جبس سمك (1 cm)، طابوق عادي سمك (24 cm)، فلين سمك (5 cm)، وطبقة من الإسمنت سمك (1 cm).علماً أن الجدار معرض إلى الظروف الخارجية شتاءً.

الجواب:



تطبق المعادلة الخاصة بالمقاومة الكلية:

قيم معامل التوصيل الحراري من جدول (3-1):

1- الجبس $L_1 = 0.01m$ ، $k_1 = 0.8$ W/m.°C

2- الطابوق $L_2 = 0.24m$ ، $k_2 = 0.72$ W/m.°C

3- الفلين $L_3 = 0.05m$ ، $k_3 = 0.036$ W/m.°C

4- الإسمنت $L_4 = 0.01m$ ، $k_4 = 0.72$ W/m.°C

5- معامل انتقال الحرارة لطبقة الهواء الداخلية $f_i = 8$ W/m^2.°C جدول (2-3)

6- معامل انتقال الحرارة لطبقة الهواء الخارجية $f_o = 34$ W/m^2.°C جدول(2-3)

$$R_T = \frac{1}{f_i} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} + \frac{L_4}{k_4} + \frac{1}{f_o}$$

$$= \frac{1}{8} + \frac{0.01}{0.8} + \frac{0.24}{0.72} + \frac{0.05}{0.036} + \frac{0.01}{0.72} + \frac{1}{34}$$

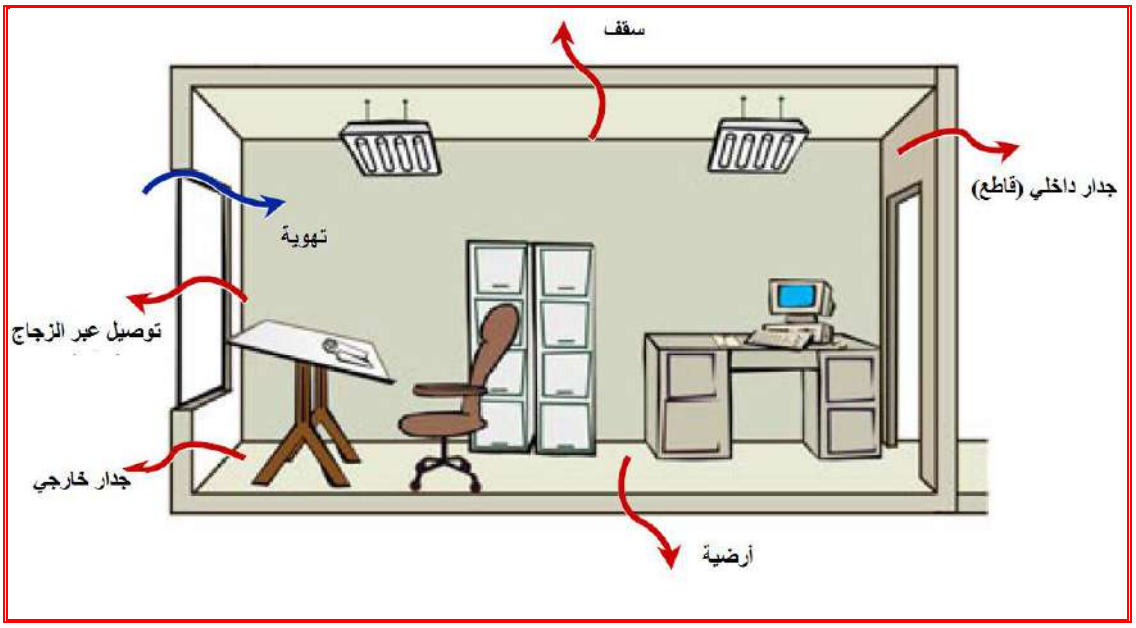
$$R_T = 0.125 + 0.0125 + 0.333 + 1.388 + 0.0138 + 0.029$$

$$R_T = 1.9 \text{ m}^2.°\text{C/W}$$

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{1.9} = 0.526 \text{ W/m}^2.°\text{C}$$

3-3 حمل التدفئة Heating Load

يعرّف حمل التدفئة بأنه كمية الحرارة المضافة إلى الفضاء المراد تكييفه لغرض تهيئة ظروف داخلية تحقق راحة الإنسان. وغالباً ما يتم التركيز على تحقيق درجة حرارة البصلة الجافة التي تحقق راحة الإنسان، وبصورة عامة يتم افتراض أقل درجة حرارة خارجية لحساب فقرات حمل التدفئة، ويتم إهمال تأثير أشعة الشمس الداخلة إلى البناية والحرارة المتولدة من قبل الأشخاص اللتين تُعدان عوامل إيجابية في تقليل حمل التدفئة، وتتكون فقرات حمل التدفئة وكما مبين في الشكل (3-2) مما يأتي:



شكل 3-2 الحرارة المفقودة من الحيز المكيف

1- الحرارة المنتقلة عبر الزجاج بالتوصيل Heat Loss Through Glasses

وتمثل كمية الحرارة المنتقلة عبر طبقات الزجاج، وتعتمد على فرق درجات الحرارة بين الفضاء المكيف والمحيط الخارجي، ومساحة طبقة الزجاج، وتعتمد المعادلة الآتية في حساب الحرارة المنتقلة عبر طبقة الزجاج. ويبين الجدول (3-3) معامل انتقال الحرارة للأبواب والشبابيك.

$$Q_g = U_g \times A_g \times (T_i - T_o)$$

إذ أن:

Q_g	كمية الحرارة المنتقلة بالتوصيل عبر الزجاج	W
U_g	معامل انتقال الحرارة للزجاج	$W/m^2.℃$
A_g	مساحة طبقة الزجاج	m^2
T_i	درجة حرارة الفضاء المكيف (الداخلي)	℃
T_o	درجة الحرارة الخارجية	℃

2- الحرارة المفقودة خلال الأبواب Heat Loss Through Doors

وتشمل الحرارة المفقودة عبر جميع أنواع الأبواب، ويبين الجدول (3-3) أنواع الأبواب ومعامل انتقال الحرارة الإجمالي لكل منها.

$$Q_D = U_D \times A_D \times (T_i - T_o)$$

إذ أن

Q_D	كمية الحرارة المنتقلة بالتوصيل عبر الأبواب	W
U_D	معامل انتقال الحرارة للأبواب	$W/m^2.°C$
A_D	مساحة الباب	m^2
T_i	درجة حرارة الفضاء المكيف	°C
T_o	درجة الحرارة الخارجية	°C

3- الحرارة المفقودة خلال الجدران والسقوف المعرضة للظروف الخارجية

Heat Loss through Exposed Wall and Roof

وتشمل الحرارة المفقودة عبر الجدران الخارجية للبناية بسبب فرق درجات الحرارة بين الفضاء المكيف والهواء الخارجي، وتعتمد كما ذكرنا على فرق درجات الحرارة بين الفضاء المكيف والمحيط الخارجي وعلى مساحة الجدار، وعلى معامل انتقال الحرارة الإجمالي للجدار، ويبين الجدول (3-4) معامل انتقال الحرارة الإجمالي لبعض أنواع الجدران والسقوف بضمنها معامل انتقال الحرارة لطبقتي الهواء الخارجية والداخلية، فـــي حين يبين الجدول (3-5) المقاومة الحرارية لمفردات البناية بصورة عامة. وتكتب معادلة انتقال الحرارة للجدار كما يأتي:

$$Q_{w/r} = U_{w/r} \times A_{w/r} \times (T_i - T_o)$$

إذ إن:

$Q_{w/r}$	كمية الحرارة المفقودة عبر الجدران أو السقوف	W
$U_{w/r}$	معامل انتقال الحرارة الإجمالي للجدار أو السقف	$W/m^2.°C$
$A_{w/r}$	مساحة الجدار أو السقف	m^2
T_i	درجة حرارة الفضاء المكيف	°C
T_o	درجة الحرارة الخارجية	°C

4- الحرارة المفقودة عبر الأرضيات Heat Loss Through Floor

بما أن أرضية الغرفة تكون في تماس مباشر مع سطح الأرض لذا يحصل انتقال للحرارة بين هواء الغرفة الذي هو عند الظروف التصميمية وسطح الأرض الذي هو عند درجة حرارة ثابتة شتاءً ومقدارها (10˚C)، وتحسب الحرارة المفقودة من الأرضية من المعادلة الآتية:

$$Q_F = U_F \times A_F \times (T_i - 10)$$

إذ إن:

Q_F	كمية الحرارة المنتقلة بالتوصيل عبر الأرضية	W
U_F	معامل انتقال الحرارة للأرضية	$W/m^2.℃$
A_F	مساحة الأرضية	m^2
T_i	درجة حرارة الفضاء المكيف	℃

5- الحرارة المفقودة عبر الجدران والسقوف غير المعرضة للظروف الخارجية

Heat Loss through un Exposed Walls and Roof

وتشمل الحرارة المفقودة عبر الجدران الداخلية التي تفصل الغرف بعضها عن بعض، وتسمى بالقواطع، وكذلك الحرارة المفقودة عبر السقوف الداخلية التي تفصل طابق عن طابق آخر، ويمكن حسابها من المعادلة اللاحقة. ومن خلال المعامل 0.5 المذكور في المعادلة، يستنتج إن الحرارة المفقودة عبر القواطع والسقوف الداخلية تمثل نصف الحرارة المفقودة عبر الجدران أو السقوف المعرضة إلى الفضاء الخارجي.

$$Q_{p/r} = U_{p/r} \times A_{p/r} \times (T_i - T_o) \times 0.5$$

إذ إن:

$Q_{p/r}$	كمية الحرارة المنتقلة بالتوصيل عبر القواطع أو السقوف الداخلية	W
$U_{p/r}$	معامل انتقال الحرارة للقواطع أو السقوف الداخلية	$W/m^2.℃$
$A_{p/r}$	مساحة القواطع أو السقوف الداخلية	m^2

6- الحرارة المفقودة عبر أسس البناية Heat Loss through Floor Edge

تمثل الحرارة المفقودة بسبب أسس البناية، وبما أن أساس البناية مغمور داخل الأرض لذا فإن فرق درجات الحرارة يكون بين درجة حرارة الغرفة ودرجة حرارة باطن الأرض، وتحسب الحرارة المفقودة بسبب أسس البناية للطابق الأرضي فحسب، ولا تدخل مساحة الأرضية في هذه الفقرة، وإنما محيط الغرفة كون أساس البناية (أساس جداري) يكون على محيط الغرفة، وتحسب الحرارة المفقودة من أسس البناية من المعادلة التالية:

$$Q_E = 1.4 \times P \times (T_i - 10)$$

إذ إن:

Q_E	كمية الحرارة المنتقلة بالتوصيل عبر الأسس	W
P	محيط الغرفة	m
10	درجة حرارة سطح الأرض	℃

7- الحرارة المفقودة بسبب التهوية وتخلل الهواء.

Heat Loss due to Ventilation and Infiltration

أولا- التهوية Ventilation

تُعد زيادة نسبة ثاني أوكسيد الكاربون وتولد الروائح غير المقبولة بسبب وجود الأشخاص في الغرفة، وكذلك تولد الدخان إذا كان هنالك مدخنين، أموراً تقلل من راحة الإنسان، فضلاً عن وجود أماكن معينة في البناية من الضروري أن يسحب الهواء منها باستمرار كالمرافق الصحية والمطابخ، لذا يتم سحب كمية من الهواء المكيف باستمرار وإبداله بهواء خارجي، إذ إن درجة حرارة الهواء الخارجي شتاءً هي أقل من درجة حرارة الغرفة المكيفة، لذا فإن هناك حملاً حرارياً إضافياً سيضاف إلى منظومة التكييف، ويبين الجدول (3-6) كمية الهواء المطلوب لإجراء التهوية بحسب نوع استعمال البناية لكل شخص، في حين يبين الجدول (3-7) كمية الهواء المطلوب للتهوية لكل متر مربع من مساحة الغرفة. وتعتمد المعادلة الآتية لحساب كمية هواء التهوية:

أ- اعتمادا على عدد الأشخاص:

$$\dot{V} = Pe \times \dot{V}_{pe}$$

إذ إن:

$\dot{V}$	حجم الهواء المطلوب للتهوية	ℓ/s
P_e	عدد الأشخاص	
$\dot{V}_{pe}$	حجم الهواء المار لكل ثانية لكل شخص جدول (3-6)	ℓ/s.pe

ب- اعتمادا على مساحة الفضاء:

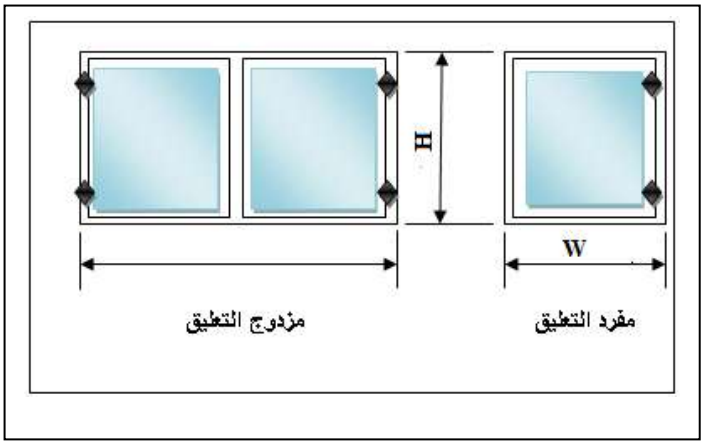
$$\dot{V} = A \times \dot{V}_A$$

إذ إن:

$\dot{V}$	حجم الهواء المطلوب للتهوية	ℓ/s
A	مساحة الفضاء	m^2
$\dot{V}_A$	حجم الهواء المار لكل ثانية لكل متر مربع جدول (3-7)	$ℓ/s.m^2$

ثانياً – تخلل الهواء (النفوذية) Infiltration

هو كمية الهواء الداخل إلى الغرفة بسبب عدم إحكام غلق الأبواب والشبابيك وكما هو مبين في الشكل (3-3) وتعتمد كمية الهواء المتخلل على نوع الشباك أو الباب ومحيطهما. ويحسب طول الشق L_c الذي يتخلل الهواء من خلاله كما يأتي:



- شباك أو باب مفرد التعليق

$L_c = N\ (2(W+H))$

- شباك أو باب مزدوج التعليق

$L_c = N\ (2(W+H)+H)$

حيث أن N عدد الأبواب أو الشبابيك

H ارتفاع الباب او الشباك

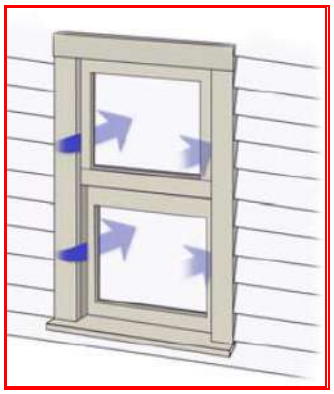
W عرض الباب اوالشباك

وتحسب كمية الهواء المتخلل من المعادلة الآتية:

$$\dot{V} = L_c \times \dot{V}_{Lc}$$

إذ إن:

$\dot{V}$	حجم الهواء المار لكل ثانية من خلال الشق	ℓ/s
L_c	طول الشق	m
$\dot{V}_{Lc}$	حجم الهواء المار لكل ثانية لكل متر من طول الشق جدول (3-8)	ℓ/s.m



شكل 3-3 تخلل الهواء من خلال فتحات الشبابيك

ومما ذكر أعلاه يمكن حساب كمية الحرارة المحسوسة المفقودة من البناية بسبب التهوية أو تخلل الهواء.

$$Q_i = 1.21 \times \dot{V} \times (T_i - T_o)$$

إذ إن:

Q_i	كمية الحرارة المفقودة بسبب التهوية أو التخلل	W

ملاحظة:

1- **إذا كانت كمية الهواء المتخلل أكبر من كمية هواء التهوية، فيجب إجراء الحسابات على أساس كمية هواء التخلل، وعدم تهوية البناية، لأن تخلل الهواء يعوض عنها.**

2- **إذا كانت كمية هواء التهوية أكبر من كمية هواء التخلل تعتمد كمية هواء التهوية في البناية، وتكون كمية الهواء الذي يتم إبداله في الغرفة مساوية (كمية هواء التهوية – كمية هواء التخلل).**

8- حمل التدفئة الكلي Total Heating Load

يتكون حمل التدفئة الكلي للغرفة من جمع الأحمال الحرارية المذكورة سابقاً كما يأتي:

$$Q_T = Q_g + Q_D + Q_w + Q_r + Q_F + Q_{p/r} + Q_E + Q_i$$

إما الحمل الحراري للبناية فيساوي مجموع الحمل الحراري الكلي للغرف.

9- حساب حجم الهواء المجهز للبناية Volume Flow Rate of Supply Air

وبما إن الحرارة التي تم اعتمادها في حمل التدفئة هي حرارة محسوسة، لذا يمكن اعتماد معادلة الحمل المحسوس لحساب كمية الهواء المجهز للبناية، كما يأتي:

$$\dot{V} = \frac{Q}{1.21\ (Ts - Tr)}$$

$$Q = 1.21 \times \dot{V} \times (T_s - T_r)$$

إذ إن:

Q	حمل التدفئة الكلية	W
$\dot{V}$	حجم الهواء المجهز	ℓ/s
T_s	درجة حرارة البصلة الجافة للهواء المجهز	°C
T_r	درجة حرارة البصلة الجافة للغرفة	°C

وتكون درجة حرارة البصلة الجافة للهواء المجهز أكبر من درجة حرارة الغرفة بمقدار (6˚C)، أي أن الحد $(T_s - T_r)$ يساوي (6˚C).

مثال 3

غرفة ضمن دار سكني، بإبعاد (6 m×2.5 m) وارتفاع (3 m) تحتوي على باب زجاجي مفرد بابعاد (1 m×2 m)، يتكون جدار الغرفة الداخلي من (20 mm) جبس من الجهتين و (12 cm) طابوقاً اعتيادياً، أوجد الحرارة المفقودة من خلال الباب والحرارة المفقودة من خلال الجدار الداخلي عند الطول (6 m) بالتوصيل، الظروف الداخلية للغرفة هي (23˚C) درجة حرارة البصلة الجافة و 50% رطوبة نسبية، والظروف الخارجية (4˚C) درجة حرارة البصلة الجافة و (2˚C) درجة حرارة البصلة الرطبة.

الجواب

الحرارة المفقودة عبر الباب الزجاجي:

$$Q_D = U_D \times A_D \times (T_i - T_o)$$

U_D	2.4	$W/m^2.℃$	جدول (3-3) باب زجاجي مفرد
A_D	2	m^2	1×2
T_i	23	℃	ظروف داخلية
T_o	4	℃	ظروف خارجية

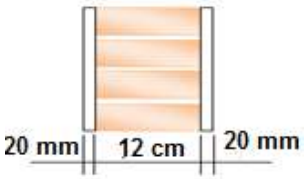
$$Q_D = 2.4 \times 2 \times (23 - 4) = 91.2 \text{ W}$$

الحرارة المفقودة خلال الجدار الداخلي:

ويسمى الجدار الداخلي بالقاطع، لذا ستعتمد معادلة الحرارة المفقودة عبر القواطع:

$$Q_p = U_p \times A_p \times (T_i - T_o) \times 0.5$$

معامل انتقال الحرارة عبر القاطع U



$$U = \frac{1}{R_T}$$

$$R_T = \frac{2}{f_i} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3}$$

f_i	8	$W/m^2.℃$	جدول (3-2) شتاءً
k_1	0.80	W/m.℃	جبس جدول (3-1)
k_2	0.72	W/m.℃	طابوق عادي جدول (3-1)

$$R_T = \frac{2}{8} + \frac{0.02}{0.8} + \frac{0.12}{0.72} + \frac{0.02}{0.8} = 0.466 \text{ m}^2.℃/W$$

$U = 1/0.466 = 2.14\ W/m^2.℃$

$\mathcal{Q}_p = 2.14 \times (6 \times 3) \times (23 - 4) \times 0.5 = 366\ W$

مثال 4

مكتب عام يحتوي على 12 شباك مزدوج التعليق متوسط الصنع بابعاد 1.5 m عرض × 1 m ارتفاع، و8 شبابيك مفردة التعليق، متوسطة الصنع بابعاد 0.5 m عرض × 1 m ارتفاع، وجميع الشبابيك من دون مانع لتخلل الهواء. وباب خشب واحدة رديئة الصنع بابعاد 1 m عرض× 2 m ارتفاع. تحتوي المكتبة على 26 شخصاً. أوجد الحمل الحراري الكلي الناتج من التهوية وتخلل الهواء. علماً أن الظروف الداخلية للغرفة هي (22˚C) بصلة جافة و 50% رطوبة نسبية، والظروف الخارجية (4˚C) بصلة جافة و (2˚C) بصلة رطبة.

الجواب

يحسب طول الشق للنوافذ مزدوجة التعليق:

$L_c = No. \times (2 \times (W + H) + H)$
$L_c = 12 \times (2 \times (1.5 + 1) + 1) = 72\ m$

يحسب كمية الهواء الداخلة عبر الشق:

$\dot{\mathbf{V}} = \mathbf{L_c} \times \dot{\mathbf{V}}_{\mathbf{Lc}}$

$V_{Lc} = 0.54\ ℓ/s.m$ جدول (3-8)

$\dot{\mathbf{V}} = 72 \times \mathbf{0.54} = 38.88\ ℓ/s$

يحسب طول الشق للنوافذ مفردة التعليق:

$L_c = No. \times (2 \times (W + H)$
$L_c = 8 \times (2 \times (0.5 + 1) = 24\ m$

يحسب كمية الهواء الداخلة عبر الشق:

$\dot{\mathbf{V}} = L_c \times \dot{\mathbf{V}}_{\boldsymbol{Lc}}$

$V_{Lc} = 0.54\ ℓ/s$ من جدول(3-8)

$\dot{\mathbf{V}} = 24 \times \mathbf{0.54} = 12.96\ ℓ/s$

يحسب طول الشق للباب:

$L_c = No. \times (2 \times (W + H)$
$L_c = 1 \times (2 \times (1 + 2) = 6\ m$

$V_{Lc} = 3.56\ ℓ/s.m$ من جدول (3-8)

$\dot{\mathbf{V}} = 6 \times \mathbf{3.56} = 21.36\ ℓ/s$

حجم الهواء الكلي بسبب التسرب:

$\dot{\mathbf{V}} = 38.88 + 12.96 + 21.36 = 73.2\ ℓ/s$

حجم الهواء المطلوب لتهوية الغرفة لتحقيق راحة الإنسان لـ 26 شخصاً:

$\dot{\mathbf{V}} = Pe \times \dot{\mathbf{V}}_{\mathbf{pe}}$

حجم الهواء اللازم للشخص الواحد جدول (3-6) مكاتب

$\dot{\mathbf{V}} = 26 \times \mathbf{7} = 182\ ℓ/s$

ملاحظة مهمة

عند مقارنة حجم الهواء الناتج من التخلل (73.2 ℓ/s) مع حجم الهواء المطلوب للتهوية (182 ℓ/s) يلاحظ أن حجم الهواء اللازم للتهوية أكبر من الهواء الناتج من التخلل، لذا يعتمد حجم الهواء المطلوب للتهوية.

تحسب الحرارة المفقودة بسبب التهوية: $\mathcal{Q} = 1.21 \times \dot{\mathbf{V}} \times (T_i - T_o)$

$Q = 1.21 \times 182 \times (22 - 4) = 3964$ W

مع ملاحظة أن كمية الهواء المطلوب تجهيزها لغرض التهوية

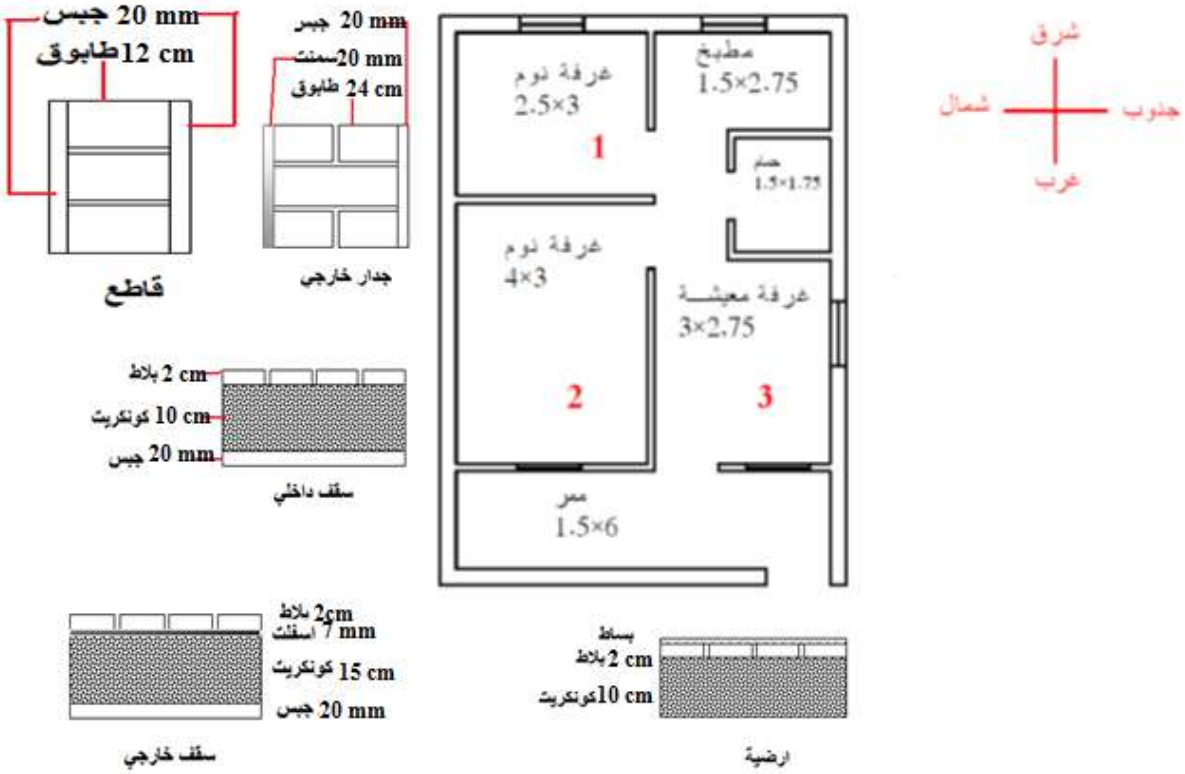
$\dot{\mathbf{V}} = 182 - 73.2 = 108.8$ ℓ/s

مثال 5

غرفة في شقة بالطابق الأرضي في مدينة بغداد كما في الشكل (3-4) تتكون مما يأتي:

1. الجدران الخارجية (24 cm) طابوقاً اعتيادياً، (20 mm) طبقة داخلية من الجبس، (20 mm) طبقة خارجية من الإسمنت
2. السقف الداخلي: (10 cm) خرسانة، (2 cm) بلاط، (20 mm) طبقة داخلية من الجبس، ارتفاع (3 m).
3. السقف الخارجي: (15 cm) سم خرسانة، (2.5 cm) بلاطاً من الإسمنت، (7 mm) اسفلت، (20 mm) طبقة داخلية من الجبس
4. الأرضية: 10 cm خرسانة، 2 cm بلاط، بساط مع طبقة من الفايبر.
5. القواطع: 12 cm من الطابوق الإعتيادي، 20 mm طبقة داخلية وخارجية من الجبس.
6. الشبابيك: نافذة من الخشب مفردة التعليق في كل غرفة، بابعاد 1 m×1 m، رديئة الصنع من دون مانعة للتسرب.
7. الأبواب: الباب الخارجي: 1.5 m×2 m، من الخشب ردئ الصنع سمك 2.5 cm، الباب الداخلي: 1 m×2 m، من الخشب ردئ الصنع سمك 2.45 cm
8. الاشخاص: شخصان.
9. الظروف التصميمية: الداخلية (22˚C) بصلة جافة، 50% رطوبة نسبية، الخارجية: (4˚C) بصلة جافة و (2˚C) بصلة رطبة.
10. الفضاء العلوي غير مكيف.

جد الحمل الحراري المفقود من النافذة، والحمل الحراري للأشخاص، والحمل الحراري للتهوية والحمل الحراري للشقة.



شكل 3-4 مخطط بناية مثال رقم 5

الجواب

يحسب **معامل انتقال الحرارة الإجمالي** لتراكيب البناية:

الجدار الخارجي: $U_w = 1.73\ W/m^2.°C$ جدول (3-4)

القاطع: $U_p = 1.82\ W/m^2.°C$ جدول (3-4)

معامل انتقال الحرارة الإجمالي للسقف الداخلي:

	غشاء داخلي	بلاط	خرسانة	جبس
k	—	1.1	1.72	0.8
f_i	10	—	—	—
جدول	2-3	1-3	1-3	1-3

$$R_T = \frac{2}{f_i} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3}$$

$$R_T = \frac{2}{10} + \frac{0.02}{1.1} + \frac{0.1}{1.72} + \frac{0.02}{0.8} = 0.301\ m^2.°C/W$$

$$U = 1/R_T = 1/\ 0.301 = 3.31\ W/m^2.°C$$

معامل انتقال الحرارة الإجمالي للأرضية

	غشاء داخلي	بساط	بلاط	خرسانة
K	-	-	1.1	1.72
f_i	10	—	—	—
L/k	-	0.367	—	—

جدول	2-3	5-3	1-3	1-3

$$R_T = \frac{1}{10} + 0.367 + \frac{0.02}{1.1} + \frac{0.1}{1.72} = 0.543\ m^2.°C/W$$

$U_F = 1/ R_T = 1/0.543 = 1.84\ W/m^2.°C$

معامل انتقال الحرارة للشبابيك والأبواب

	باب داخلي	شباك
U	2	6.4
جدول	3-3	3-3

خلاصة معامل انتقال الحرارة الإجمالي لتراكيب البناية

معامل انتقال الحرارة الإجمالي لمواد البناء $W/m^2.°C$					
U_D	U_g	U_F		U_p	U_w
2	6.4	1.84		1.82	1.73

حساب الحمل الحراري:

يجب تعيين الأماكن التي سيتم تدفئتها قبل البداية بحساب الحمل الحراري، لحساب الأحمال الحرارية لغرفة رقم 1

غرفة رقم 1 غرفة النوم m (3×2.5):

1- الحرارة المفقودة عبر الزجاج

$$Q_g = U_g \times A_g \times (T_i - T_o)$$

$$Q_g = 6.4 \times (1\times1) \times (22 - 4) = 115.2\ W$$

2- الحرارة المفقودة عبر الأبواب

$$Q_D = U_D \times A_D \times (T_i - T_o) \times 0.5$$

إذ إن الباب يتعرض إلى فضاء غير مكيف وليس إلى الفضاء الخارجي

$$Q_D = 2 \times (1\times2) \times (22 - 4) \times 0.5 = 36\ W$$

3- الحرارة المفقودة عبر الجدران والسقوف المعرضة للظروف الخارجية

$$Q_w = U_w \times A_w \times (T_i - T_o)$$

مساحة الجدار الشمالي = $(3\times2.5) = 7.5\ m^2$

مساحة الجدار الشرقي = مساحة الجدار – مساحة النافذة = $(3\times3) - (1\times1) = 8\ m^2$

مجموع مساحة الجدران الخارجية = $7.5 + 8 = 15.5\ m^2$

$$Q_w = 1.73 \times 15.5 \times (22 - 4) = 482.7\ W$$

4- الحرارة المفقودة عبر أرضية الغرفة

$Q_F = U_F \times A_F \times (T_i - 10)$

$Q_F = 1.84 \times (2.5 \times 3) \times (22 - 10) = 165.6$ W

5- الحرارة المفقودة عبر القواطع والسقوف الداخلية:

$Q_{p/r} = U_{p/r} \times A_{p/r} \times (T_i - T_o) \times 0.5$

- الحرارة المفقودة عبر القواطع الداخلية:

بما إن الغرفة 1 والغرفة 2 يتم تدفئتهما لذا فان فرق درجات الحرارة بينهما صفراً، أي تهمل الحرارة المنتقلة عبر القاطع الفاصل بينهما، إما القاطع الذي يفصل بين الغرفة 1 والمطبخ فيؤخذ بالحسبان.

مساحة القاطع الفاصل بين الغرفة 1 والمطبخ

= مساحة القاطع- مساحة الباب = $(2 \times 1) - 3 \times 2.5 = 5.5$ m^2

$Q_p = 1.82 \times 5.5 \times (22 - 4) \times 0.5 = 90.1$ W

- الحرارة المفقودة عبر السقوف الداخلية:

$Q_{p/r} = U_{p/r} \times A_{p/r} \times (T_i - T_o) \times 0.5$

$Q_{p/r} = 3.31 \times (3 \times 2.5) \times (22 - 4) \times 0.5 = 223.4$ W

6- الحرارة المفقودة عبر أسس البناية:

$Q_E = 1.41 \times P \times (T_i - 10)$

محيط الغرفة = 2 × (الطول + العرض)= $2 \times (3+2.5) = 11$ m

$Q_E = 1.41 \times 11 \times (22 - 10) = 186.1$ W

7- الحرارة المفقودة بسبب التهوية أو التخلل:

- الحرارة المفقودة بسبب التهوية:

$\dot{\mathbf{V}} = \text{No.} \times \dot{\mathbf{V}}_{\mathbf{pe}}$ $\dot{\mathbf{V}}_{\mathbf{pe}} = 9$ ℓ/s من جدول (6-3)

$\dot{\mathbf{V}} = 2 \times 9 = 18$ ℓ/s

- الحرارة المفقودة بسبب التخلل:

يحسب طول الشق للشباك والباب

الشباك:

$L_c = \text{No.} \times (2 \times (W + H)) = 1 \times (2 \times (1 + 1)) = 4$ m

$\dot{\mathbf{V}}_{\mathbf{Lc}} = 1.78$ ℓ/s من جدول (8-3)

$\dot{\mathbf{V}} = 4 \times 1.78 = 7.12$ ℓ/s

الباب

$L_c = No. \times (2\times (W + H)) = 1 \times (2\times (1 + 2))= 6$ m

$\dot{\mathbf{V}}_{\mathbf{Lc}}= 3.56$ ℓ/s من جدول (8-3)

$\dot{\mathbf{V}} = 6\times 3.56 = 21.4$ ℓ/s

$\dot{\mathbf{V}}_{g/D} = 7.12 + 21.4 = 28.5$ ℓ/s

يلاحظ إن كمية هواء التخلل (28.5 ℓ/s) أكبر من كمية هواء التهوية (18 ℓ/s) لذا يعتمد هواء التخلل في الحسابات.

$Q = 1.21 \times \dot{\mathbf{V}} \times (T_i - T_o)$

$Q = 1.21 \times \mathbf{28.5} \times (22 - 4) = 620.7$ W

$Q_{Room} = Q_g + Q_D + Q_w + Q_F + Q_p + Q_{p/r} + Q_E + Q_i$

$Q_{Room}=115.2+36+482.7+165.6+90.1+223.4+186.1+620.7$

$Q_{Room} = 1919.8$ W

أسئلة الفصل الثالث

س1: اوجد الحمل الحراري المحسوس المفقود من بناية بسبب تخلل الهواء، تحتوي البناية على شباكين مزدوجي التعليق رديئي الصنع، من دون مانع للتسرب بإبعاد 1 m عرض × 1.5 m ارتفاع. وأن درجة حرارة الغرفة هي (22˚C) بصلة جافة والظروف الخارجية (5˚C) بصلة جافة.

475.89 W /ج

س2: احسب الحمل الحراري المفقود لكل واحد متر مربع من جدار يتكون من 24 cm طابوق اعتيادي، 10 mm طبقة داخلية من الجبس، 10 mm طبقة خارجية من الإسمنت، علماً أن الظروف الخارجية (5˚C) بصلة جافة ، والداخلية (25˚C) بصلة جافة, علماً ان الجدار معرض للظروف الخارجية شتاءً .

38.9 W /ج

س3: جد كمية الحرارة الكلية المفقودة من شباك زجاجي بسبب التوصيل والتخلل، بإبعاد 2 m عرض × 1 m ارتفاع، مزدوج التعليق متوسط الصنع، مع مانع للتسرب، إذا كانت الظروف الداخلية (26˚C) بصلة جافة، والظروف الخارجية هي (20˚C) بصلة جافة.

94 W /ج

س4: جد كمية الحرارة اللازمة لتحقيق راحة 25 شخصاً في مكتب عام، علماً أن درجة حرارة الغرفة هي

(22˚C) بصلة جافة والظروف الخارجية (5˚C) بصلة جافة. ج/ 3600 W

س5: احسب معامل انتقال الحرارة لجدار يتكون من الداخل إلى الخارج من 15 mm جبس، 12 cm طابوق اعتيادي، 5 cm صوف زجاجي، 12 cm طابوق اعتيادي، 10 mm إسمنت.

ج/ 0.57 $W/m^2.^\circ C$

س6: احسب الحرارة المفقودة من أرضية غرفة لكل واحد متر مربع، إذا علمت إن درجة حرارة الغرفة هي (22˚C) بصلة جافة، وتتكون الأرضية من سجاد مع طبقة من المطاط، 2 cm بلاط، 10 cm خرسانة. ج/ 22 W

جدول 3-1 معامل التوصيل الحراري لبعض المواد

المادة	معامل التوصيل الحراري k W/m.°C
طابوق عادي	**0.72**
طابوق صقيل	**1.3**
خرسانة	**1.72**
بلاط (كاشي)	**1.1**
حجر	**1.8**
طبقة سمنت	**0.72**
طبقة جبس	**0.80**
خشب صلب	**0.16**
خشب طري	**0.12**
رمل	**1.72**
فلين	**0.036**
صوف زجاجي	**0.036**
بولسترين	**0.04**

جدول 3-2 معامل انتقال الحرارة لطبقتي الهواء الداخلية والخارجية (الغشائية) للجدران والسقوف

الجدران والسقوف	الحالة	اتجاه الحرارة	معامل انتقال الحرارة بالحمل (f) $W/m^2.°C$	الفصل
داخلية f_i	هواء ساكن تحت سقف	إلى الأعلى	**10**	شتاءً
	هواء ساكن تحت سقف	إلى الأسفل	**6**	صيفاً
	هواء ساكن على جدار عمودي	أفقي	**8**	صيفاً وشتاءً
خارجية f_o	هواء متحرك بسرعة 6.7m\s	كل الاتجاهات	**34**	شتاءً للعراق
	هواء متحرك بسرعة 3.4m\s	كل الاتجاهات	**24**	صيفاً للعراق

جدول 3-3 معامل انتقال الحرارة الإجمالي **U** للشبابيك والأبواب والجدران الزجاجية والنوافذ الأفقية

$W/m^2.℃$

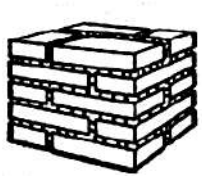
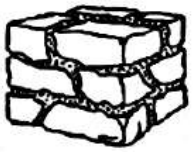
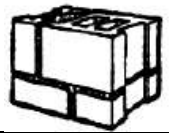
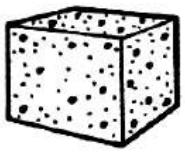
الزجاج								
عدد طبقات الزجاج	مفرد	مزدوج			ثلاثي			
سمك الفجوة بين كل طبقة (cm)	0	0.6	1.3	1.9	0.6	1.3	1.9	
معامل انتقال الحرارة	6.4	3.5	3.1	3.0	2.3	2.0	1.9	

الأبواب								
سمك الخشب (cm)	2.5	3.0	4.0	4.5	5.0	6.5	7.5	زجاجي
باب معرض للشمس	3.9	3.4	3.0	2.9	2.6	2.2	1.9	6.0
باب غير معرض للشمس	2.0	1.8	1.7	1.7	1.6	1.4	1.3	2.4

جدار مبني من الطابوق الزجاجي المجوف		
الوصف	وزن الجدار kg	معامل المواصلة الحرارية
جدار زجاجي أبعاد الطابوق الزجاجي cm (10×15×15)	68	3.4
جدار زجاجي أبعاد الطابوق الزجاجي cm (10×20×20)	68	3.2
جدار زجاجي أبعاد الطابوق الزجاجي cm (30×30×30)	78	3.0
جدار زجاجي أبعاد الطابوق الزجاجي cm (10×20×20) مع طبقة من الصوف الزجاجي	68	2.7
جدار زجاجي أبعاد الطابوق الزجاجي cm (30×30×30) مع طبقة من الصوف الزجاجي	78	2.5

زجاج أفقي				
عدد طبقات الزجاج	مفرد		مزدوج مع فجوة سمك 1cm	
الفصل	صيفا	شتاءً	صيفا	شتاءً
معرض إلى أشعة الشمس	4.9	7.9	2.8	4.0
غير معرض إلى أشعة الشمس	2.4	3.6		

جدول 3-4 معامل انتقال الحرارة الإجمالي **U** لبعض أنواع الجدران **$W/m^2.°C$** (**للاطلاع فقط**)

إنهاء داخلي			وزن الجدار	سمك الجدار	الوصف	انهاء خارجي
1 cm بياض	1 cm جص	من دون	$Kg\backslash m^2$	cm		
2.56	**2.33**	**2.73**	**425**	**20**	طابوق سطح صقيل واعتيادي	
1.87	**1.76**	**1.99**	**600**	**30**		
1.48	**1.42**	**1.53**	**844**	**40**		
2.21	**2.04**	**2.33**	**390**	**20**	اعتيادي فقط	
1.70	**1.59**	**1.76**	**586**	**30**		
1.36	**1.31**	**1.42**	**781**	**41**		
3.58	**3.12**	**3.80**	**488**	**20**	حجر	
2.95	**2.67**	**3.12**	**732**	**30**		
2.56	**2.33**	**2.67**	**976**	**41**		
1.99	**1.82**	**2.04**	**1464**	**61**		
1.82	**1.70**	**1.93**	**127**	**20**	بلوك مزدوج	
1.36	**1.31**	**1.42**	**195**	**30**		
3.92	**3.12**	**4.26**	**342**	**15**	2240 $kg\backslash m^3$	خرسانة صب 
3.58	**2.78**	**3.80**	**454**	**20**		
3.24	**2.50**	**3.46**	**571**	**25**		
2.95	**2.27**	**3.12**	**683**	**30**		
1.70	**1.59**	**1.76**	**195**	**15**	1280 $kg\backslash m^3$	
1.36	**1.31**	**1.42**	**259**	**20**		
1.14	**1.08**	**1.19**	**322**	**25**		
0.97	**0.97**	**1.02**	**390**	**30**		
0.74	**0.74**	**0.74**	**73**	**15**	480 $kg\backslash m^3$	
0.57	**0.57**	**0.57**	**98**	**20**		
0.45	**0.45**	**0.45**	**122**	**25**		
0.40	**0.40**	**0.40**	**146**	**30**		
2cm جبس	**2cm جص**	**من دون**			طابوق اعتيادي مع إنهاء داخلي وخارجي	بناء عراقي
1.82	**1.82**	**---**	**260**	**12**		
1.73	**1.73**	**---**	**500**	**24**		
1.53	**1.53**	**---**	**650**	**32**		

جدول 3-5 المقاومة الحرارية **R** لبعض مواد البناء **$m^2.℃/W$**

المادة	الوصف	سمك	كثافة	وزن	مقاومة حرارية R=L/k	
		cm	$kg\backslash m^3$	$kg\backslash m^2$	$m^2.℃/W$	
ألواح بناء	لوح اسبست والإسمنت		1921			0.04
	لوح اسبست والإسمنت	0.3	1921	6	0.005	
	لوح جبس أو بياض	1.0	801	8	0.056	
	لوح جبس أو بياض	1.3	801	10	0.079	
مكونات الجدار	طابوق اعتيادي	10	1921	195	0.141	
	طابوق صقيل	10	2081	210	0.077	
	بلوك من الخرسانة	8	1217	93	0.070	
		10	1105	112	0.125	
		15	1025	156	0.160	
		20	1025	210	0.195	
		30	1009	308	0.225	
	حصى ناعم	8	961	73	0.224	
		10	833	83	0.264	
		20	768	156	0.352	
		30	688	210	0.400	
	قاطع من الجبس					
	صلب (75×30×7.5)cm	8	720	54	0.222	
	4 خلايا (75×30×7.5)cm	8	560	44	0.238	
	3 خلايا (75×30×7.5)cm	10	608	63	0.294	0.04
ملحقات مواد الجدار	بلاط إسمنتي		1857			0.03
	حصى ناعم		1921			0.02
	حصى ورمل أو حجر وحصى		2241			0.04
	جص		1857			0.04
مواد الإنهاء	طبقة رقيقة من الإسمنت		1857	0		
	رمل	1.3	1857	23	0.018	
	رمل	1.9	1857	35	0.026	
	طبقة من الجبس	1.3	720	9	0.056	
	طبقة من الجبس	1.6	720	11	0.069	0.03
	رمل		1681	0		
	رمل	1.3	1681	21	0.016	
	رمل	1.6	1681	27	0.019	

جدول 3-5 المقاومة الحرارية R لبعض مواد البناء (تابع) $m^2.°C/W$

المادة	الوصف	سمك	كثافة	وزن	مقاومة حرارية R=L/k	
		cm	$Kg\backslash m^3$	$Kg\backslash m^2$	$m^2.°C/W$	
سقوف	بلاط خرساني (شتايكر)		1921		0.037	
	طبقة من الإسفلت		1121		0.026	
	قطع من الإسفلت		1121		0.077	
	سقف جاهز	1.0	1121	11	0.058	
الفرش الداخلي	قطع إسفلت	0.3	1921	6	0.07	
	سجاد مع طبقة من الفايبر					0.367
	سجاد مع طبقة من المطاط					0.39
	قطع فلين		400			0.217
	مطاط أو لدائن	0.3	1761	6	0.009	
	بلاط	0.3	0			0.04

جدول 3-6 كميات التهوية القياسية (بحسب عدد الأشخاص) ℓ/s.p

الاستخدام	تدخين	اعتيادي	قليل
شقق اعتيادية	البعض	9	7
شقق فاخرة	البعض	14	12
فضاء مصارف	عرضي	5	4
صالونات حلاقة	متوقع	7	5
منتديات	كثيف	14	12
أقسام	ممنوع	4	2
غرف إدارة	كثيف جدا	24	14
صيدليات	متوقع	5	4
معامل	ممنوع	5	4
مستشفيات غرف خاصة	ممنوع	14	12
ممرات مستشفيات	ممنوع	9	7
فنادق	كثيف	14	12
مختبرات	البعض	9	7
غرف اجتماع	كثيف جدا	24	14
مكاتب عامة	البعض	7	5
مكتب خاص	ممنوع	12	7
مكتب خاص	متوقع	14	12
مطاعم سريعة الوجبات	متوقع	6	5
مطاعم	متوقع	7	6
مسارح	ممنوع	4	2
مسارح	البعض	7	5

جدول 3-7 كميات التهوية القياسية حسب مساحة الفضاء المكيف $\ell/s.m^2$

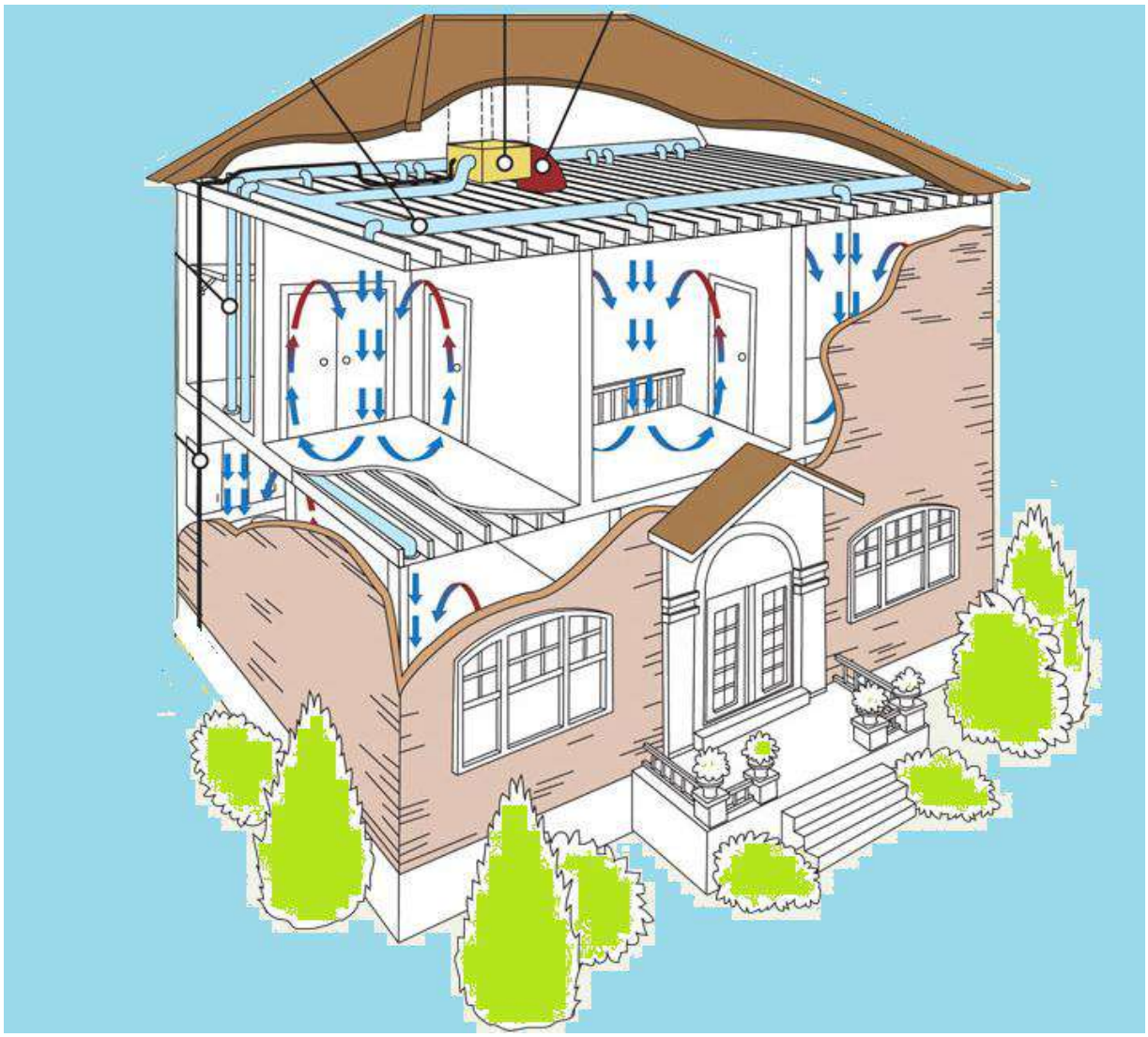
الاستعمال	تدخين	اعتيادي
شقة فاخرة	البعض	**1.6**
ممرات دفع هواء أو سحب	---------	**1.2**
أسواق	ممنوع	**0.2**
معامل	ممنوع	**0.5**
موقف سيارات	------	**4.7**
مستشفيات غرف عمليات	ممنوع	**9.4**
مستشفيات غرف خاصة	ممنوع	**1.6**
فنادق	كثيف	**1.6**
مطبخ مطعم	------	**18.9**
مطبخ مسكن	------	**9.4**
غرف اجتماعات	كثيف جدا	**5.9**
مكتب خاص	ممنوع	**1.2**
مدارس	ممنوع	**2.0**
مرافق صحية سحب هواء	------	**9.4**

جدول 3-8 تخلل الهواء خلال الأبواب والشبابيك $\ell/s.m$

شبابيك و أبواب		$\ell/s.m$	
		من دون إطار مانع التسرب	مع إطار مانع للتسرب
شبابيك	شباك متوسط الصنع	**0.54**	**0.34**
	شباك رديء الصنع	**1.78**	**0.50**
	شباك رديء الصنع مع شباك خارجي	**1.44**	**0.45**
	أطار معدني	**1.90**	**0.82**
أبواب	حديد أو خشب جيد الصنع	**1.86**	**0.93**
	حديد أو خشب رديء الصنع	**3.56**	------
	جيد الصنع سمك الفتحة 0.3 cm		**9.90**
	متوسط الصنع سمك الفتحة 1 cm		**15.47**
	رديء الصنع سمك الفتحة 0.6 cm		**20.11**
	باب مصنع سمك الفتحة 0.3 cm		**9.90**

الفتحة: هي سمك الخلوص (المسافة بين الاطار وفردة الشباك أو الباب)

الفصل الرابع
حمل التبريد



حمل التبريد Cooling Load

1-4 مقدمة Introduction

يتعامل حمل التبريد مع نوعين من الأحمال الحرارية:

أ- حمل التبريد المحسوس Sensible Cooling Gain

وهو الحمل الحراري المنتقل أو المتولد داخل البناية، ويسبب رفع درجة الحرارة من دون أن يغير المحتوى الرطوبي، ومن مسبباته:

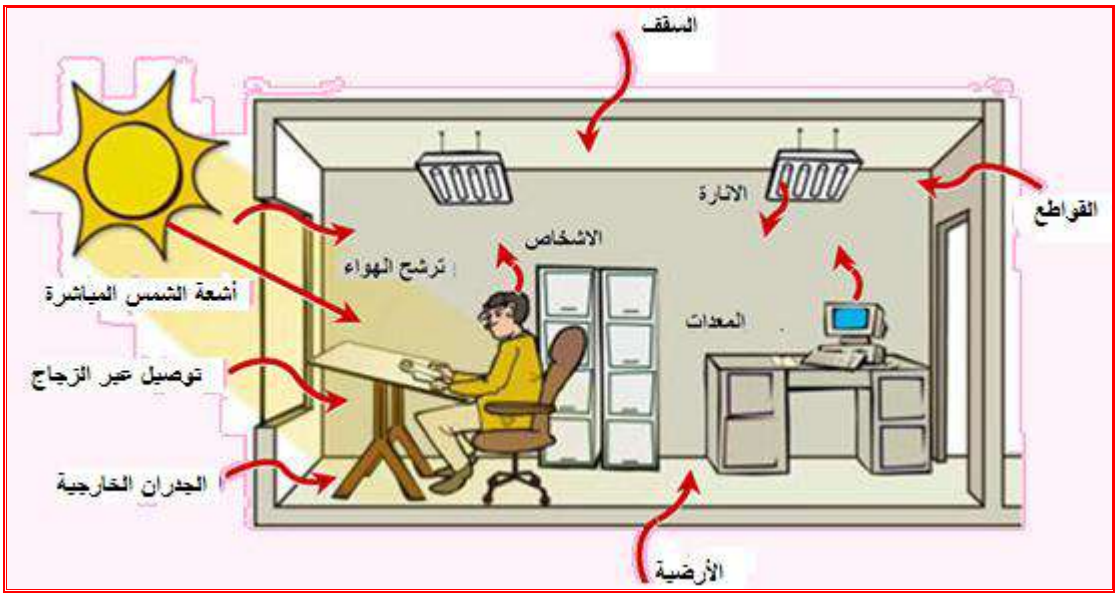
- **الحرارة المنتقلة عبر تراكيب البناية بالتوصيل والحمل والإشعاع.**
- **الإشعاع الشمسي المباشر الداخل عبر الزجاج.**
- **الحمل الحراري المحسوس الناتج من التهوية وتسرب الهواء من البناية وإليها.**
- **الحمل الحراري المحسوس المتولد من الأشخاص والأجهزة الكهربائية والإنارة ومعدات الطبخ وغيرها.**

ب- حمل التبريد الكامن Latent Cooling Gain

وهو الحمل الحراري المتسبب في اختلاف المحتوى الرطوبي في الهواء، ومن مسبباته:

- **الحمل الحراري الكامن الناتج عن اختلاف المحتوى الرطوبي للهواء المتسرب داخل الغرفة.**
- **الحمل الحراري الناتج من وجود بخار الماء في هواء التنفس للأشخاص.**
- **الحمل الحراري الناتج من تولد البخار في إثناء عمل بعض المُعدات والأجهزة الكهربائية.**

ويبين الشكل (4-1) فقرات حمل التبريد المعرض لها الفضاء.



شكل 4-1 فقرات حمل التبريد

2-4 وقت الذروة Peak Time

يعرّف وقت الذروة بأنه الوقت الذي يكون حمل التبريد فيه أكبر ما يمكن، ويتم اعتماده لحساب حمل التبريد. إن الحرارة المكتسبة من الجدار بسبب أشعة الشمس وكذلك الحرارة المكتسبة من الأثاث في البناية عند سقوط أشعة الشمس عليها لن تظهر مباشرة بصورة حرارة، وإنما تتحول إلى حرارة مخزونة في تراكيب البناية والأثاث لحين انبعاثها بعد مدة معينة، وعلى هذا الأساس تنبعث الحرارة المخزونة في تراكيب البناية والأثاث في المدة المحصورة بين 4 - 6 بعد الظهر ويتزامن هذا الانبعاث مع كون أشعة الشمس عمودية على الجدار الغربي قبل غروب الشمس، في حين أن تأثير الأشخاص في الحمل الحراري يظهر في المدة المحصورة بين 2 - 5 بعد الظهر، لذلك يُعد وقت الذروة للبناية هو الرابعة عصراً في أغلب الأحيان.

3-4 مكونات حمل التبريد

1- الحرارة الداخلة من النوافذ بسبب أشعة الشمس Solar Gain – Glass

عند سقوط أشعة الشمس على سطح الزجاج سوف ينعكس جزءاً منه إلى الخارج، وجزءً ضئيلاً سوف يمتص من قبل لوح الزجاج، والجزء الأكبر سوف ينفذ إلى داخل البناية، وتعتمد النسب السابقة على سمك الزجاج ولونه وعدد طبقاته وزاوية سقوط أشعة الشمس ووسائل التظليل الداخلية والخارجية المستعملة في النوافذ، مثلاً للزجاج المفرد وعند زاوية سقوط تساوي 30° تكون نسبة الإشعاع المار عبر الزجاج بحدود 87%، وتنخفض هذه النسبة إلى 52% إذا كانت زاوية السقوط 80°، وتصل النسبة إلى 49% إذا وضعت ستائر داخلية، ويبين الشكل (2-4) الإشعاع الشمسي المار عبر الزجاج.

وتحسب كمية الحرارة المارة عبر الزجاج من المعادلة الآتية:

$$Q_g = SHG \times A$$

إذ إن:

Q_g	كمية الحرارة المارة عبر الزجاج	**W**
SHG	الكسب الحراري الأقصى بسبب أشعة الشمس والنافذ من النوافذ، جدول (4-1)	**W/m²**
A	مساحة الشباك	**m²**

شكل 2-4 الإشعاع الشمسي المار عبر الزجاج

2-الحرارة المنتقلة عبر الأبواب والشبابيك Doors & Windows Heat Transmission

وهي الحرارة العابرة عبر مادة الزجاج أو الأبواب بفعل فرق درجات الحرارة بين المحيطين الداخلي والخارجي، وتحسب من المعادلة الآتية:

$$Q_{D/g} = U_{D/g} \times A_{D/g} \times (T_o - T_i)$$

إذ إن:

$Q_{D/g}$	كمية الحرارة المنتقلة بالتوصيل عبر الزجاج أو الأبواب	W
$U_{D/g}$	معامل انتقال الحرارة للزجاج أو الأبواب جدول (3-3)	$W/m^2.°C$
$A_{D/g}$	مساحة طبقة الزجاج أو الباب	m^2
T_o	درجة الحرارة الخارجية	°C
T_i	درجة حرارة الفضاء المكيف	°C

3- الحرارة المكتسبة والمنتقلة بسبب أشعة الشمس عبر الجدار

Solar Gain and Transmission- Wall

تقسم الحرارة المنتقلة إلى الفضاء المكيف على 1- الحرارة المنتقلة عبر الجدار بسبب فرق درجات الحرارة بين الفضاء المكيف والمحيط الخارجي. 2- الحرارة المنتقلة في الحالة غير المستقرة والناتجة من تغير شدة الإشعاع الشمسي الساقط على الجدار وتغير كل من درجتي حرارة الهواء الخارجي والسطح الخارجي للجدار والخزن الحراري للجدار، وعلى هذا الأساس لا يمكن اعتماد فرق درجات الحرارة عبر الجدار أنها تساوي الفرق بين درجة الحرارة الخارجية ودرجة الحرارة الداخلية. إذ إن فرق درجات الحرارة يعتمد على مدى تعرض الجدار للشمس (اتجاه الجدار)، ونوع مادة بناء الجدار، وسمك الجدار، ودرجة حرارة الهواء الخارجية، لذا تم جمع العوامل السابقة بصيغة تسمى بفرق درجات الحرارة المكافئ للجدار.

فرق درجات الحرارة المكافئ Equivalent Temperature Difference ΔT_e

يبين الجدول (4-2) فرق درجات الحرارة المكافئ للجدران والسقوف العراقية بحسب الاتجاهات المبينة.

الحرارة المكتسبة والمنتقلة عبر الجدار بسبب أشعة الشمس

بعد أن تم التعرف على معنى فرق درجات الحرارة المكافئ، تحسب الحرارة المكتسبة والمنتقلة عبر الجدار بسبب أشعة الشمس كما يأتي:

$$Q_w = U_w \times A_w \times \Delta T_e$$

إذ إن:

Q_w	كمية الحرارة المنتقلة والمكتسبة عبر الجدار	**W**
U_w	معامل انتقال الحرارة الإجمالي للجدار راجع الجداول (3-4) و (3-5) لاستخراجه	**W/m².℃**
A_w	مساحة الجدار	**m²**
ΔT_e	مجموع فرق درجات الحرارة المكافئ للجدار جدول (4-2)	**℃**

4- الحرارة المكتسبة والمنتقلة عبر السقف بسبب أشعة الشمس

Solar Gain and Transmission- Roof

يمكن تقسيم السقوف بحسب تعرضها إلى المحيط الخارجي كما يأتي:

أ- السقوف المعرضة للظروف الخارجية: Exposed Roof

وهي السقوف المعرضة إلى أشعة الشمس، ويجب الأخذ بالحسبان فرق درجات الحرارة المكافئ لها كما يأتي:

$$Q_{er} = U_r \times A_r \times \Delta T_e$$

إذ إن:

Q_{er}	كمية الحرارة المنتقلة والمكتسبة عبر السقف المعرض	**W**
U_r	معامل انتقال الحرارة الإجمالي للسقف راجع الجداول (3-4) و (3-5) لاستخراجه	**W/m².℃**
A_r	مساحة السقف	**m²**
ΔT_e	مجموع فرق درجات الحرارة المكافئ للسقف جدول (4-2)	**℃**

ب- السقوف غير المعرضة للظروف الخارجية Unexposed Roof

وتشمل السقوف الداخلية التي تفصل بين طوابق البناية، وتؤخذ بشكل تقريبي على أساس نصف مقدار الحرارة المنتقلة عبر السقوف المعرضة للظروف الخارجية التي حسبت، وأن لم تتعرض السقوف الخارجية للحمل الحراري كما في الشقق يتم حساب الحمل الحراري للسقوف الداخلية كما يأتي:

$$Q_{p/r} = 0.5 \times U_{p/r} \times A_{p/r} \times (T_o - T_i)$$

5- الحرارة المنتقلة عبر القواطع Heat Transmission- Partition

تعرف القواطع بأنها الجدران الداخلية للبناية التي تفصل الغرف عن بعضها، وكما هو معروف أن هذه الجدران غير معرضة للظروف الخارجية، لذا تضرب كمية الحرارة بمعامل (0.5) لأن الحرارة المنتقلة بالتوصيل عبر القواطع تمثل نصف الحرارة المنتقلة بالتوصيل للجدران المعرضة للفضاء الخارجي.

$$Q_p = 0.5 \times U_p \times A_p \times (T_o - T_i)$$

إذ أن:

Q_p	كمية الحرارة المنتقلة بالتوصيل عبر القاطع	W
U_p	معامل انتقال الحرارة الإجمالي للقاطع جدول (4-3)	$W/m^2.℃$
A_p	مساحة القاطع	m^2
T_o	درجة الحرارة الخارجية	℃
T_i	درجة حرارة الفضاء المكيف	℃

6- الحرارة المتولدة بسبب شاغلي البناية Heat Gain People

تسمى الحرارة المتولدة داخل جسم الإنسان بمعدل الأيض (Metabolic Rate)، وتختلف المعدلات الأيضية من شخص إلى آخر بحسب الفعالية التي يؤديها جسم الإنسان، إذا كانت درجة حرارة جسم الإنسان ثابتة عند 37℃ فأن الحرارة الزائدة المتكونة في جسم الإنسان سوف تبعث إلى الخارج بالطرائق الآتية:

- الإشعاع من جسم الإنسان إلى المحيط الخارجي (حرارة محسوسة)
- انتقال الحرارة بالحمل والتنفس (حرارة محسوسة)
- تبخر العرق من جسم الإنسان مع إضافة الرطوبة المتولدة في أثناء عملية التنفس (حرارة كامنة).

لذلك تقسم الحرارة المتولدة من جسم الإنسان على حرارة محسوسة وحرارة كامنة، كما مبين في الجدول (4-3)، ويمكن حساب كمية الحرارة الكامنة المتولدة من قبل ساكني البناية كما يأتي:

أ- الحرارة المحسوسة المتولدة بسبب الأشخاص Sensible Heat Gain- People

$$Q_{p/s} = No \times SHG$$

إذ إن:

$Q_{p/s}$	كمية الحرارة المحسوسة المنبعثة من الأشخاص	W
No	عدد الأشخاص	--
SHG	معدل الحرارة المحسوسة المنبعثة من الشخص جدول (4-3)	W/p

ب- الحرارة الكامنة المتولدة من الأشخاص Latent Heat Gain- People

إذ إن:

$$Q_{p/L} = No \times LHG$$

$Q_{p/L}$	كمية الحرارة الكامنة المنبعثة من الأشخاص	W
No	عدد الأشخاص	--
LHG	معدل الحرارة الكامنة المنبعثة من الشخص جدول (3-4)	W/p

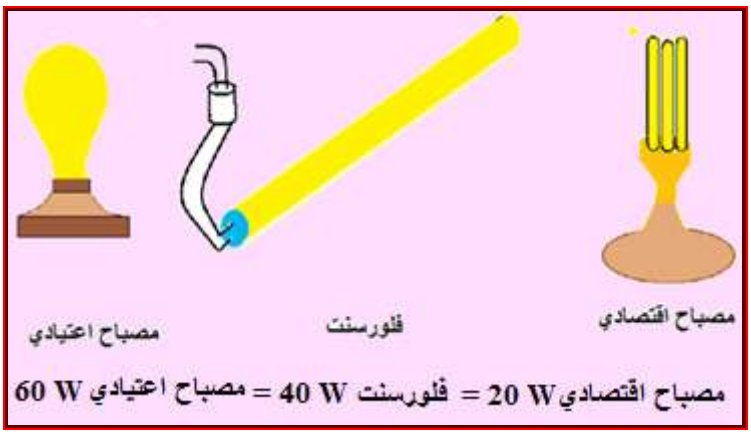
7- الحرارة المتولدة من الإنارة Heat Gain- Lights

الإنارة تولد حرارة محسوسة بسبب تحول الطاقة الكهربائية إلى ضوء وحرارة تنتقل إلى الفضاء بالحمل والإشعاع والتوصيل، ويبين الشكل (3-4) الفرق بين المصباح الاقتصادي، والفلوريسنت والمصباح الاعتيادي. ومن الجدير بالذكر أنه في حال معرفة عدد المصابيح المطلوبة في الغرفة يفترض أن تكون شدة الإضاءة في الغرفة الواحدة تساوي 25 واطاً لكل متر مربع من مساحة الغرفة. في التطبيقات الشائعة يمكن كتابة معادلة الحرارة المتولدة من الإنارة كما يأتي:

$$Q_{lig.} = No \times 0.9 \times P$$

إذ إن:

$Q_{lig.}$	كمية الحرارة المحسوسة المنبعثة بسبب الإنارة	**W**
No	عدد المصابيح	
P	قدرة المصباح	**W**



شكل 3-4 انواع المصابيح المستخدمة

8- الحرارة المتولدة من الاجهزة الكهربائية Heat Gain- Appliances

تشمل هذه الفقرة جميع المعدات الكهربائية المستعملة من محركات كهربائية، وطباخات، وغلايات، ومُعدات مكتبية، مثلاً الطابعة الليزرية ذات قدرة 350 W، التي تبعث حرارة إلى المكان المكيف مقدارها 175 W والحاسوب ذو القدرة 600 W يبعث كمية حرارة مقدارها 530 W عند إيصال التيار الكهربائي إليه من دون عمله، لذلك يمكن تقدير الحرارة المتولدة من الأجهزة المذكورة (المعدات المكتبية) بمقدار $47\ W/m^2$ من مساحة الأرضية لكل جهاز، ويمكن استخدام الجدول (4-4) لاستخراج كمية الحرارة المحسوسة والكامنة المنبعثة من كل مُعدة من المعدات. وتقسم الحرارة المتولدة بسبب المُعدات على قسمين في بعض الأحيان كما يأتي:

أ- الحرارة المحسوسة المتولدة بسبب المعدات Sensible Heat Gain- Appliances

$$Q_{A/s} = No \times SHG$$

إذ إن:

$Q_{A/s}$	كمية الحرارة المحسوسة المنبعثة من المُعدات	**W**
No	عدد الأجهزة	
SHG	مقدار الحرارة المحسوسة من كل مُعدة من المُعدات جدول (4-4)	**W**

ب- الحرارة الكامنة المتولدة بسبب المُعدات Latent Heat Gain- Appliances

$$Q_{A/L} = No \times LHG$$

إذ إن:

$Q_{A/L}$	كمية الحرارة الكامنة المنبعثة من المُعدات	**W**
No	عدد الأجهزة	
LHG	مقدار الحرارة الكامنة من كل مُعدة من المُعدات جدول (4-4)	**W**

9- الحرارة المتولدة من المحركات الكهربائية Heat Gain- Motor

يبين الجدول (4-5) كمية الحرارة المنبعثة من المحركات الكهربائية بحسب قدرتها الحصانية، فضلاً عن مكان وجود المحرك الكهربائي نسبة إلى الفضاء المكيف، فعند وجود كل من المحرك الكهربائي والماكينة في الفضاء المكيف تزداد كمية الحرارة المنبعثة إلى الفضاء المكيف، أما عند وجود المحرك خارج الفضاء المكيف فان كمية الحرارة المنبعثة تكون أقل، وسبب تولد الحرارة هنا هو دوران الماكينة داخل الفضاء المكيف، ويمكن حساب كمية الحرارة المتولدة أعتماداً على المعادلة التالية:

$$Q_M = No \times P$$

إذ أن

Q_M	كمية الحرارة المحسوسة المنبعثة من المحركات الكهربائية	**W**
P	مقدار الحرارة المحسوسة المنبعثة من المحركات جدول (4-5)	**W**

10- الحمل الحراري بسبب التهوية Heat Load – Ventilation

وهي الحرارة الناتجة من تبديل هواء الغرفة باستمرار لتحقيق متطلبات راحة الإنسان، وتختلف كمية الهواء المطلوبة للتهوية بحسب طبيعة العمل والمكان الذي يشغله الإنسان، ويمكن حساب كمية الهواء المطلوب للتهوية بعدة طرائق وكما ذُكر في الفصل الثالث الفقرة 7 كما يأتي: كمية الهواء المطلوبة للتهوية ولكل متر مربع من مساحة الغرفة. وتعتمد المعادلة التالية لحساب كمية هواء التهوية:

أ- اعتماداً على عدد الأشخاص:

$$\dot{V} = Pe \times \dot{V}_{pe}$$

ب- اعتماداً على مساحة الفضاء:

$$\dot{V} = A \times \dot{V}_A$$

إذ إن:

$\dot{V}$	حجم الهواء المطلوب للتهوية للأشخاص	**ℓ/s**
$\dot{V}_{PE}$	حجم الهواء المطلوب للتهوية من جدول (3-6) لكل شخص	**ℓ/s.p**
A	مساحة الفضاء	**m^2**
$\dot{V}_A$	حجم الهواء المطلوب لكل ثانية لكل متر مربع، جدول (3-7)	**ℓ/s .m^2**

ويقسم الحمل الحراري الناتج من التهوية على قسمين، أحدهما حمل حراري محسوس والآخر حمل حراري كامن.

أ- الحمل الحراري المحسوس

وينتج الحمل الحراري المحسوس بسبب فرق درجات الحرارة بين الفضاء المكيف والمحيط الخارجي ويحسب من المعادلة الآتية:

$$Q_{vs} = 1.21 \times \dot{V} \times (T_o - T_i)$$

إذ أن:

Q_{vs}	كمية الحرارة المحسوسة المنتقلة بسبب التهوية	**W**
$\dot{V}$	حجم هواء التهوية	**ℓ/s**
T_o	درجة حرارة المحيط الخارجي	**°C**
T_i	درجة حرارة الفضاء المكيف	**°C**

ب- الحمل الحراري الكامن

وينتج بسبب فرق المحتوى الرطوبي بين الفضاء المكيف والمحيط الخارجي، ويحسب من المعادلة الآتية:

$$Q_{vL} = 2.98 \times \dot{V} \times (W_o - W_i)$$

إذ أن:

Q_{Vl}	كمية الحرارة الكامنة المنتقلة بسبب التهوية	**W**
$\dot{V}$	حجم هواء التهوية، **ملاحظة 1** في الفصل الثالث	**ℓ/s**
W_o	المحتوى الرطوبي للمحيط الخارجي	g_v/kg_a
W_i	المحتوى الرطوبي للغرفة	g_v/kg_a

11- الحرارة الداخلة بسبب تخلل الهواء Infiltration

وهي كمية الهواء الداخل إلى الغرفة بسبب عدم إحكام غلق الأبواب والشبابيك، كما مبين في الشكل (3-3)، وتعتمد كمية الهواء المتخلل على نوع الشباك أو الباب ومحيطهما. ويحسب طول الشق وحجم الهواء المتخلل كما تم ذكره في الفصل الثالث.

ويقسم الحمل الحراري الناتج من تخلل الهواء على قسمين، أحدهما حمل حراري محسوس والآخر حمل حراري كامن، كما تم ذكره في الفقرة السابقة (فقرة 10).

الحمل الحراري للغرفة Room Heat Load

يعرف الحمل الحراري للغرفة بأنه الحمل الحراري الناتج من العوامل الداخلية والخارجية باستثناء الحمل الحراري الناتج من تهوية الغرفة وتسرب الهواء عبر تركيبها، ويقسم الحمل الحراري للبناية على الحمل الحراري المحسوس، والحمل الحراري الكامن.

الحمل الحراري الإجمالي Grand Total Heat (Q_t)

يساوي الحمل الحراري الإجمالي مجموع كل من الحمل الحراري للغرفة والحمل الناتج من تهوية الغرفة.

ويمكن تحويل الحمل الحراري بوحدات الواط إلى وحدات طن تثليج باعتماد المعادلة الآتية:

$$C_c = \frac{Q_t}{3516}$$

إذ إن:

C_c	سعة منظومة التكييف	**Ton ref**
Q_t	الحمل الحراري الإجمالي	**W**

مثال 1

غرفة في شقة بالطابق الارضي في مدينة بغداد مبينة في الشكل (3-4) في الفصل الثالث تتكون مما يأتي:

1. الجدران الخارجية: 24 cm طابوقاً اعتيادياً، 20 mm طبقة داخلية من الجبس، 20 mm طبقة خارجية من الإسمنت.
2. السقف الداخلي: 10 cm خرسانة، 2 cm بلاط، 20 mm طبقة داخلية من الجبس، ارتفاع (3 m).
3. الارضية: 10 cm خرسانة، 2 cm بلاط، بساط مع طبقة من الفايبر.
4. القواطع: 12 cm من الطابوق الإعتيادي، 20 mm طبقة داخلية وخارجية من الجبس.
5. الشبابيك: نافذة من الخشب مفردة التعليق في كل غرفة، بابعاد 1 m × 1 m، رديئة الصنع بدون مانعة التسرب.
6. الأبواب: الباب الخارجي: 2 m × 1.5 m، من الخشب ردئ الصنع سمك 2.5 cm، الباب الداخلي: 2 m × 1 m، من الخشب ردئ الصنع سمك (2.45 cm).
7. الاشخاص: شخصان لكل غرفة.
8. هنالك مجفف شعر يعمل باستمرار في الغرفة
9. الإنارة على اساس 25 W لكل 1 m^2
10. الظروف التصميمية: الداخلية 22°C بصلة جافة، RH=50%، الخارجية: 45°C بصلة جافة و 24°C بصلة رطبة.
11. الفضاء العلوي غير مكيف.

جد الحمل الحراري المفقود من النافذة والباب، والحمل الحراري للأشخاص، والحمل الحراري للتهوية، والحمل الحراري للشقة.

الجواب

يحسب معامل انتقال الحرارة الإجمالي لتراكيب البناية:

معامل انتقال الحرارة الإجمالي للجدار الخارجي (جدول 4-2) $U_w = 1.73\ W/m^2.^\circ C$

معامل انتقال الحرارة الإجمالي للقاطع (جدول 4-2) $U_P = 1.82\ W/m^2.^\circ C$

معامل انتقال الحرارة الإجمالي للسقف الداخلي

$$R_T = \frac{1}{f_i} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} + \frac{1}{f_i}$$

$$R_T = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{6}} + \frac{\mathbf{0.02}}{\mathbf{1.1}} + \frac{\mathbf{0.1}}{\mathbf{1.72}} + \frac{\mathbf{0.02}}{\mathbf{0.8}} + \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{6}} = 0.435\ m^2.^\circ C/W$$

$$U_{p/r} = 1/R = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{0.435}} = 2.3\ W/m^2.^\circ C$$

معامل انتقال الحرارة الإجمالي للأرضية:

	غشاء	بلاط	خرسانة
K		1.1	1.72
F_i	6		
L/k			
جدول	2-3	1-3	1-3

$$R_T = \frac{1}{6} + 0.367 + \frac{0.02}{1.1} + \frac{0.1}{1.72} = 0.61\ m^2.℃/W$$

$$U_f = 1/R = \frac{1}{0.61} = 1.64\ W/m^2.℃$$

معامل انتقال الحرارة للأبواب والشبابيك

	باب	شباك
U	2	6.4
جدول	3-3	3-3

خلاصة معامل انتقال الحرارة الإجمالي لتركيب البناية:

معامل انتقال الحرارة الإجمالي لتراكيب البناية $W/m^2\ ^\circ C$						
U_d	U_g	U_F	$U_{p/r}$	U_P	U_W	
2	6.4	1.64	2.3	1.82	1.73	

حساب الحمل الحراري:

تعيين فرق درجات الحرارة المكافئ من الجدول (2-4)

اتجاه الجدار	شرق	جنوب	غرب	شمال
سمك الجدار 24cm	20.9	17.5	15.3	11.4
سقف تقليدي	15.6			

غرفة رقم 1 غرفة النوم (3 m × 2.5 m):

1- الحرارة الداخلة من النوافذ بسبب أشعة الشمس:

$$Q_g = SHG \times A$$

$$Q_g = 688 \times 1 = 688\ W$$

2- الحرارة المنتقلة عبر الشبابيك والأبواب:

$$Q_g = U_g \times A_g \times (T_o - T_i)$$

$$Q_g = 6.4 \times (1 \times 1) \times (45 - 22) = 147\ W$$

الحرارة المفقودة عبر الأبواب:

$$Q_d = U_d \times A_d \times (T_o - T_i) \times 0.5$$

إذ أن الباب يتعرض إلى فضاء غير مكيف وليس إلى الفضاء الخارجي ولهذا يؤخذ نصف الحمل.

$$Q_d = 2 \times (1 \times 2) \times (45 - 22) \times 0.5 = 46\ W$$

3- الحرارة المكتسبة والمنتقلة عبر الجدار بسبب أشعة الشمس:

للغرفة رقم 1 جداران أحدهما باتجاه الشرق، والآخر باتجاه الشمال.

$$Q_w = U_w \times A_w \times \Delta T_e$$

$$Q_w \text{ (East)} = 1.73 \times 8 \times 20.9 = 289 \text{ W}$$

$$Q_w \text{ (North)} = 1.73 \times 7.5 \times 11.4 = 148 \text{ W}$$

السقف لا يوجد سقف معرض للظروف الخارجية.

4- الحرارة المكتسبة والمنتقلة عبر السقف الداخلي:

$$Q_{p/r} = 0.5 \times U_{p/r} \times A_{p/r} \times (T_o - T_i)$$

$$Q_{p/r} = 0.5 \times 2.3 \times 7.5 \times (45 - 22) = 199 \text{ W}$$

5- الحرارة المنتقلة عبر القاطع:

$$Q_p = 0.5 \times U_p \times A_p \times (T_o - T_i)$$

$$Q_p = 0.5 \times 1.82 \times 5.5 \times (45 - 22) = 115 \text{ W}$$

6 - الحرارة المتولدة بسبب شاغلي البناية:

أ- الحمل الحراري المحسوس:

$$Q_{p/s} = No \times SHG$$

$$Q_{p/s} = 2 \times 83 = 166 \text{ W} \quad \Rightarrow$$ جدول (4-3) فنادق

ب- الحمل الحراري الكامن:

$$Q_{p/L} = No \times LHG$$

$$Q_{p/L} = 2 \times 48 = 96 \text{ W} \quad \Rightarrow$$ جدول (4-3) فنادق

7- الحرارة المتولدة بسبب الإنارة:

$$Q_{lig.} = 25 \times A \times 0.9 = 25 \times 7.5 \times 0.9 = 169 \text{ W}$$

8- الحرارة المتولدة من المُعدات:

أ- الحرارة المحسوسة (مجفف):

$$Q_{A/s} = No \times SHG$$

$$Q_{A/s} = 1 \times 667 = 667 \text{ W} \quad \Rightarrow$$ جدول (4-4)

ب- الحرارة الكامنة:

$$Q_{A/L} = No \times LHG$$

$$Q_{A/L} = 1 \times 116 = 116 \text{ W} \quad \Rightarrow$$ جدول (4-4)

9- الحرارة المتولدة من المحركات الكهربائية: لا توجد

10- الحرارة المنتقلة بسبب التهوية :

يعتمد الهواء المتسرب، كون معدل التهوية (18 ℓ/s) أصغر من معدل تخلل الهواء (28.5 ℓ/s) الذي تم حسابه في مثال 5 من الفصل الثالث.

أ- الحمل الحراري المحسوس:

$$\mathcal{Q}_{in/s} = 1.21 \times \dot{V}_{in} \times (T_o - T_i)$$

$$\mathcal{Q}_{in/s} = 1.21 \times 28.5 \times (45 - 22) = 793 \text{ W}$$

ب- الحمل الحراري الكامن:

من المخطط المصردي $W_o = 10.2 \text{ g}_v/\text{kg}_a$

من المخطط المصردي $W_i = 8.7 \text{ g}_v/\text{kg}_a$

$$\mathcal{Q}_{in/L} = 2.98 \times \dot{V} \times (W_o - W_i)$$

$$\mathcal{Q}_{in/L} = 2.98 \times 28.5 \times (10.2 - 8.7) = 127 \text{ W}$$

11- الحمل الحراري للغرفة (بدون تهوية):

$$Q_R = 688 + 147 + 46 + 289 + 148 + 199 + 115 + 166 + 96 + 169 + 667 + 116$$

$$Q_R = 2846 \text{ W}$$

12- الحمل الحراري الإجمالي:

$$Q_t = 2846 + 793 + 127 = 3766 \text{ W}$$

أسئلة الفصل الرابع

س1:
صف دراسي يحتوي على 40 طالب ومدرس واحد، هنالك 18 مصباح أنبوبي قدرة كل منها 40 W، أوجد مقدار الحمل الحراري المحسوس والكامن، علماً أن الظروف الداخلية هي (22°C بصلة جافة و50%=RH). 3723 W /ج ، 1066 W

س2:
مسرح سعة 500 شخص، ومقدار الحرارة المنتقلة إلى داخل المسرح تساوي 44 kW، أوجد مقدار حمل التبريد الكلي للمسرح، علماً أن الظروف الخارجية (45°C بصلة جافة ، 24°C بصلة رطبة)، والظروف الداخلية (22°C بصلة جافة و50%=RH). 167.5 kW /ج

س3:
أحد البيوت في مدينة بغداد يحتوي على شباك شمالي شرقي لشهر أب بمساحة m^2 (4×2)، وشباك جنوبي بمساحة m^2 (3×2)، وشباك آخر شرقي بمساحة m^2 (3×2). فإذا كان الشباك ذو إطار خشبي من دون اطار مانع التسرب مفرد التعليق ردئ الصنع، وسمك الزجاج هو 4 mm، أوجد الحمل الحراري المحسوس والكامن بسبب النوافذ (يشمل انتقال الحرارة بالتوصيل وأشعة الشمس وتخلل الهواء). افترض الظروف الخارجية (45°C بصلة جافة، 24°C بصلة رطبة)، والظروف الداخلية (23°C بصلة جافة، RH=50%). 9514 W /ج ، 254 W

س4:
جد الحمل الحراري المحسوس الناتج بسبب تخلل الهواء من شباكين مزدوجي التعليق رديئي الصنع ومصنوعين من الخشب من دون اطار مانع التسرب، أبعاد الشباك (1 m عرض ، 1.5 m ارتفاع). افترض الظروف الخارجية (45°C بصلة جافة) والداخلية (22°C بصلة جافة). 644 W /ج

س5: إحسب الحمل الحراري الناتج بسبب الكسب الحراري لأشعة الشمس وانتقال الحرارة بالتوصيل عبر شباك مساحته m^2 (2×2)، باتجاه الجنوب لشهر أب، ماذا سيكون الحمل الحراري إذا استعمل شباك مزدوج الزجاج بينهما فجوة هوائية بسمك 1.3 cm، أيقل الحمل الحراري أم يزداد، علماً أن الظروف الخارجية (45°C بصلة جافة ، 24°C بصلة رطبة)، والظروف الداخلية (22°C بصلة جافة و50%=RH). 285.2 W /ج ، 1652 W

س6:
مكتب عام في الطابق الثاني من عمارة مكيفة بإبعاد 5 m جدار جنوبي و 6 m جدار شرقي، معامل انتقال الحرارة للجدار هو 3 $W/m^2.°C$ ، الجداران الآخران داخليان ومجاوران لمكتب مكيف، للمكتب شباك بإبعاد (2 m × 2 m)، مواجه للجنوب، مزدوج التعليق ذو إطار خشبي متوسط الصنع مع إطار مانع التسرب، في المكتب ثلاثة أشخاص وهنالك أجهزة كهربائية تولد حملاً محسوساً قيمته 400 W وأربعة مصابيح أنبوبية قدرة كل منها 25 W ، علماً أن درجة حرارة البصلة الجافة الداخلية والخارجية 22°C و 45°C والمحتوى الرطوبي الداخلي والخارجي g_v/kg_a (8 و 10).
احسب الآتي: أ- حجم الهواء المطلوب للتهوية 21 *l/s* /ج ب- حجم الهواء التخلل 17,8 *l/s* /ج
ج- الحمل الحراري المحسوس والكامن الناتج من الأشخاص 249 W /ج ، 144 W
د - الحمل الحراري الناتج من تخلل الهواء 584.4 W
هـ- الحمل الحراري الكلي للبناية 4491 W /ج

جدول 4-1 الكسب الحراري الأقصى من الإشعاع الشمسي خلال الزجاج (خط عرض 35°) W/m^2

الشهر	اتجاه الجدار								
	شمال شرقي	شرق	جنوب شرقي	جنوب	جنوب غربي	غرب	شمال غربي	شمال مظلل	أفقي
آب	435	688	596	413	596	688	435	114	811
كانون الثاني	76	524	779	795	779	524	76	69	489

جدول 4- 2 فرق درجات الحرارة المكافئ للجدران والسقوف التقليدية ℃

اتجاه الجدار	معامل انتقال الحرارة $W/m^2{}^\circ C$	شمال	شمال غربي	غرب	جنوب غربي	جنوب	جنوب شرقي	شرق	شمال شرقي
سمك الجدار 36 cm	1.53	10.3	12.7	15.3	13.7	13.3	18.3	20.3	17.4
سمك الجدار 24 cm	1.73	11.4	12.3	15.3	16.6	17.5	10.0	20.9	15.6
جدار سمك 12 cm	1.82	يستخدم كجدار داخلي فحسب							
سقف تقليدي	2.87	15.6							

جدول 4-3 معدل الحرارة المحسوسة والكامنة المنبعثة من الأشخاص W/pe

طبيعة الفاعلية	المكان	درجة حرارة البصلة الجافة للفضاء المكيف									
		28℃		27℃		26℃		24℃		22℃	
		م	ك	م	ك	م	ك	م	ك	م	ك
جلوس-راحة	مدارس	51	51	57	45	61	41	75	35	75	26
جلوس-عمل خفيف	جامعات	52	64	57	59	62	54	80	46	80	36
مكتب- مشي بطئ	مكاتب، فنادق، شقق	52	78	58	73	62	68	83	59	83	48
يقف ويمشي	مصارف	52	93	58	87	64	81	84	71	84	61
عمل خفيف	مطاعم	55	104	64	96	70	90	93	78	93	67
عمل خفيف	مصانع	55	162	64	154	71	146	106	132	106	112
جهد متوسط	مسارح	64	183	71	175	80	167	116	152	116	131
مشي سريع	جهد متوسط	78	212	87	203	96	194	133	180	133	157
عمل شاق	مصانع صهر	131	290	135	286	141	280	175	268	175	245

م: محسوس، ك: كامن

جدول 4-4 الحرارة المتولدة من المعدات مع عدم وجود تهوية للغرفة W

المعدات	محسوس	كامن
إبريق قهوة كهربائي سعة 2.5ℓ	392	102
طباخ كهربائي (القيمة لكل $0.2m^2$ من مساحة الطباخ)	247	131
لوح تسخين الطعام	1218	812
محمصة خبز سعة 360 شريحة/ساعة	2233	957
مجفف شعر سعة 1000 إلى 1600 واط	667	116
مصبغة ملابس	6757	6960
مصبغة ملابس سعة 70ℓ	1769	7134
ولاعة سكائر مستمرة العمل	261	29

جدول 4-5 الحرارة المتولدة من المحركات الكهربائية W

قدرة المحرك حصان	المحرك والماكينة في الفضاء المكيف	المحرك إلى الخارج والماكينة في الفضاء المكيف	المحرك داخل الفضاء المكيف والماكينة خارج	قدرة المحرك حصان	المحرك والماكينة في الفضاء المكيف	المحرك إلى الخارج والماكينة في الفضاء المكيف	المحرك داخل الفضاء المكيف والماكينة خارج
1/20	94	38	56	10	8793	7474	1319
1/12	126	62	64	15	13043	11196	1847
1/8	170	94	76	20	17146	14948	2198
1/6	208	126	82	25	21220	18641	2579
1/4	293	188	106	30	25148	22393	2755
1/3	378	249	129	40	33707	29896	3810
1/2	533	375	158	50	41913	37224	4690
3/4	786	566	220	60	50413	44844	5569
1.0	944	744	199	75	62137	55982	6155
1.5	1398	1120	278	100	83240	74741	8500
2	1870	1495	375	125	103757	93206	10552
3	2770	2242	528	150	123102	111964	11138
5	4572	3752	821	100-250	164136	149481	14655
7.5	6595	5598	997				

الفصل الخامس
منظومات التكييف
Air-Conditioning Systems

منظومات التكييف Air-Conditioning Systems

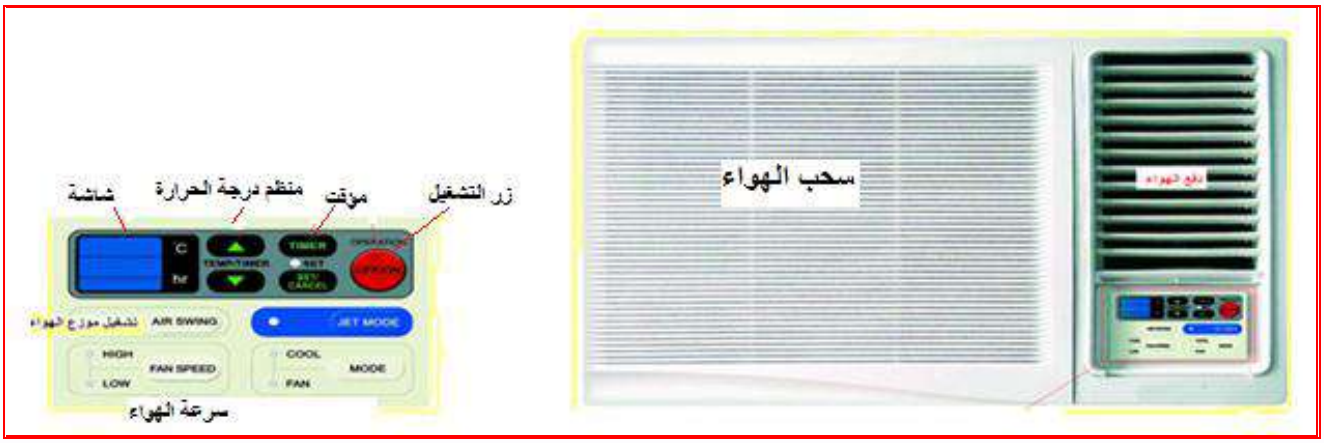
1-5 مقدمة Introduction

مفهوم تكييف الهواء العام هو القدرة على التحكم في خواص الهواء الفيزيائية والكيمياوية من أجل توفير ظروف ملائمة لاحد أمرين احدهما تكييف الهواء لراحة البشر والآخر تكييف الهواء للصناعة بأنواعها. أن عملية تكييف الهواء للراحة هي معاملة الهواء والسيطرة المتزامنة على درجة حرارته ورطوبته ونقاوته وطريقة توزيعه لموافاة متطلبات الراحة لشاغلي الحيز المكيف.

في هذا الفصل سيتم تناول بعض أهم أنواع منظومات تكييف الهواء.

2-5 مكيف الهواء الجداري Window Type Air-Conditioner

يُعد المكيف الجداري من أجهزة التكييف شائعة الاستعمال، بسبب رخص ثمنه نسبياً، وسهولة نصبه وصيانته، ويتوافر بسعات تتراوح اعتيادياً من 4000 وحدة حرارة بريطانية بالساعة (Btuh)، أي ما يعادل $\frac{1}{3}$ طن تثليج إلى (24000 Btuh) أي ما يعادل (2 TR) أو أكثر بقليل، ويبين الشكل (5-1) مكيف هواء جداري.



شكل 5-1 مكيف هواء جداري

1-2-5 أجزاء مكيف الهواء الجداري

يتكون مكيف الهواء الجداري بصورة عامة من الأجزاء الآتية:

1- الضاغط Compressor: وهو الجزء الرئيس في المكيف، ويستعمل لضغط بخار مائع التثليج، ويكون إما ترددياً، أو من النوع الدوار، ويستعمل الضاغط الدوار بكثرة في الأجواء المعتدلة التي لا تزيد فيها درجة حرارة المحيط الخارجي على 35°C، ويستهلك الضاغط الدوار طاقة كهربائية أقل من الضاغط الترددي. في حين أن الضاغط الترددي يكون مناسباً في الأجواء الحارة التي تصل فيها درجة حرارة المحيط الخارجي إلى 50°C.

2- المكثف Condenser : وهو عبارة عن مبادل حراري، يتكون من أنابيب نحاسية تحتوي على زعانف عادة تصنع من الألمنيوم مثبتة على أنابيب النحاس، وهو من النوع المبرد بالهواء، ويبرد عن طريق مروحة تقوم بدفع الهواء خلال المكثف.

3- المبخر Evaporator : وهو مبادل حراري أيضاً ويحتوي على أنابيب نحاسية ذات زعانف مصنوعة من الألمنيوم، وتقوم المروحة بسحب الهواء من خلال المبخر ودفعه من خلال شباك صغير بجانب المبخر.

4- أداة التمدد Expansion Device: وظيفة أداة التمدد هي خفض ضغط سائل مائع التثليج من ضغط المكثف إلى ضغط المبخر، ويستعمل الأنبوب الشعري عادة كأداة تمدد، إلا أن بعض المكيفات الجدارية يمكن أن تستخدم صمام التمدد لهذا الغرض.

5- منظم درجة الحرارة Thermostat : ويستخدم للسيطرة على درجة الحرارة داخل الغرفة، ويتكون من مفتاح كهربائي تتم السيطرة عليه بواسطة أنبوب شعري توضع نهايته على جهة المبخر.

6- المحرك الكهربائي Electrical Motor: يستعمل محرك كهربائي ذو محورين لتدوير كل من مروحتي المكثف والمبخر، وتربط مروحة طرد مركزي Centrifugal Fan على جهة المبخر في حين أن المروحة المستعملة لتبريد المكثف تكون من النوع المحوري Axial Fan .

7- المجفف Dryer: وهو عبارة عن أنبوب نحاسي يحتوي على مادة مازة للرطوبة تسمى بالسليكاجل، وتكون بصورة حبيبات. وتستعمل شبكتا نحاس لغرض احتواء المادة المازة خلال المجفف. ويوضع المجفف بعد المكثف لامتزاز أية رطوبة قد تكون موجودة في سائل مائع التثليج.

8- مرشح الهواء Air Filter: يوضع قبل المبخر بطريق الهواء، وفائدته ترشيح الهواء قبل دخوله إلى المبخر، ويصنع من نسيج بلاستيكي سهل التنظيف.

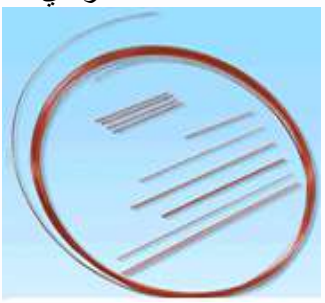
9- وسيلة التحكم عن بعد Remote Control : تحتوي الأجهزة الحديثة على جهاز للسيطرة على عمل المكيف عن بعد، ويتم ذلك عن طريق لوحة إلكترونية مثبتة على المكيف، وتحتوي على عدسة تقوم بتسلم الأشعة تحت الحمراء الآتية من المرسلة في جهاز التحكم عن بعد، ومن خلال الإشارات المنبعثة من جهاز التحكم عن بعد تتم السيطرة على تشغيل الجهاز وإطفائه فضلاً عن التحكم بدرجة حرارة الهواء الخارج من المكيف.

10- الجدار الفاصل Separated Wall: ويستعمل لفصل وحدة التكثيف (الضاغط والمكثف) عن أجزاء وحدة التبخير (المبخر والأنبوب الشعري ومروحة المبخر)، ويستعمل هذا الجدار لمنع اختلاط الهواء المكيف مع الهواء الخارجي المستعمل لتبريد المكثف، فضلاً عن عزل الضوضاء الناتجة عن عمل الضاغط، ويحتوي الجدار الفاصل على بوابة صغيرة تعمل على تزويد الغرفة المكيفة بجزء من الهواء الخارجي للتهوية، ويتم التحكم بهذه البوابة يدوياً.

ويبين الشكل (5-2) أجزاء مكيف الهواء الجداري في حين يبين الشكل (5-3) وصف مكيف الهواء الجداري.

1- ضاغط ترددي

2- مكثف

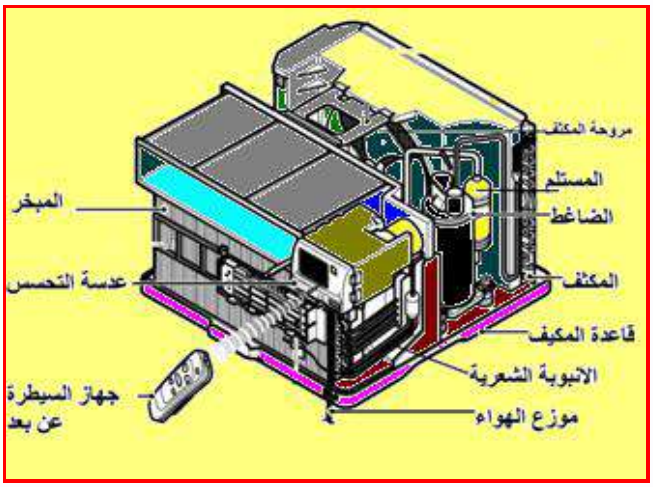


3- انبوب شعري

4- منظم درجة الحرارة

5- المحرك الكهربائي

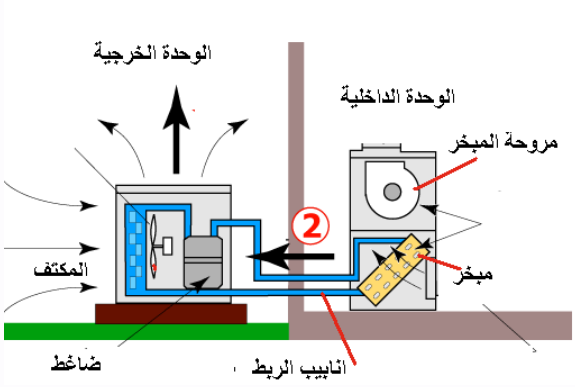
شكل 5-2 أجزاء مكيف الهواء الجداري



شكل 5-3 وصف المكيف الجداري

3-5 مكيف الهواء المنفصل Split Air- Conditioner

تسمى المكيفات بالمكيفات المنفصلة إذا تم عزل وحدة التكثيف، (الضاغط والمكثف وأداة التمدد)، عن وحدة التبخير، وفي هذا النوع من المكيفات يتم وضع منظومة التكثيف خارج الغرفة، وتسمى بالوحدة الخارجية. في حين أن الجزء الذي يحتوي على المبخر ومروحة المبخر داخل الغرفة، وتسمى بالوحدة الداخلية، ويبين الشكل (5-4) المكيف المنفصل بوحدتيه الداخلية والخارجية.



شكل 5-4 مكيف الهواء المنفصل بوحدتيه الداخلية والخارجية

1-3-5 أنواع المكيفات المنفصلة تقسم المكيفات المنفصلة حسب وضعية الوحدة الداخلية كما يأتي:

- النوع السقفي: إذ تركب الوحدة الداخلية في سقف الغرفة، كما مبين في الشكل (5-5 أ)
- النوع الجداري: وفيه يتم تثبيت الوحدة الداخلية في الثلث العلوي من جدار الغرفة، كما مبين في الشكل (5-5 ب).
- النوع الأرضي: وفيه توضع الوحدة الداخلية على الأرض وملاصقة لأحد جدران الغرفة، كما مبين في الشكل (5-5 ج).

2-3-5 أجزاء مكيف الهواء المنفصل

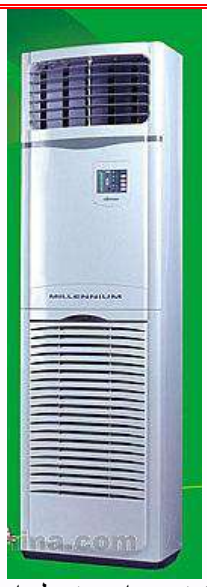
يتكون المكيف المنفصل من وحدتين داخلية وخارجية، وكما يأتي:

أ- الوحدة الداخلية Indoor Unit:

1- المبخر Evaporator: ويتكون من شبكة مصنوعة من أنابيب النحاس أو الألمنيوم وتحتوي الأنابيب على زعانف مصنوعة من الألمنيوم، وتتميز مبخرات الوحدات المنفصلة بصغر حجمها وكفاءة نقل الحرارة العالية.

أ- مكيف هواء منفصل سقفي

ب – مكيف هواء منفصل جداري



ج- مكيف هواء منفصل ارضي قائم

شكل 5-5 أنواع المكيفات الجدارية المنفصلة

2- **مروحة المبخر**: تعمل مروحة المبخر على سحب الهواء من الغرفة ليمر عبر مرشح الهواء ثم عبر المبخر، وبعد ذلك يدفع الهواء المكيف إلى الغرفة بواسطة المروحة، كما هو مبين في الشكل (5-6). وتزود مروحة المبخر بمحرك كهربائي متعدد السرع، وذلك للتحكم بحجم الهواء المدفوع عبر المبخر

3- **مرشح الهواء Filter**: تزود جميع الوحدات الداخلية بمرشح للهواء يعمل على تنقية الهواء قبل دخوله إلى المبخر، ويتكون المرشح من نسيج قطني أو من البلاستك يسهل نزعه وغسله. وفي الوقت الحاضر تطورت المرشحات كثيراً لتوفر متطلبات إضافية للتخلص من جميع عوالق الهواء من روائح والبكتريا والفايروسات المسببة للأمراض وحبوب اللقاح (الطلع).

4- **موجهات الهواء Vanes** : وتعمل الموجهات على توزيع الهواء بصورة منتظمة في الغرفة عن طريق حركتها المستمرة، ويمكن تثبيت هذه الموجهات على اتجاه واحد.

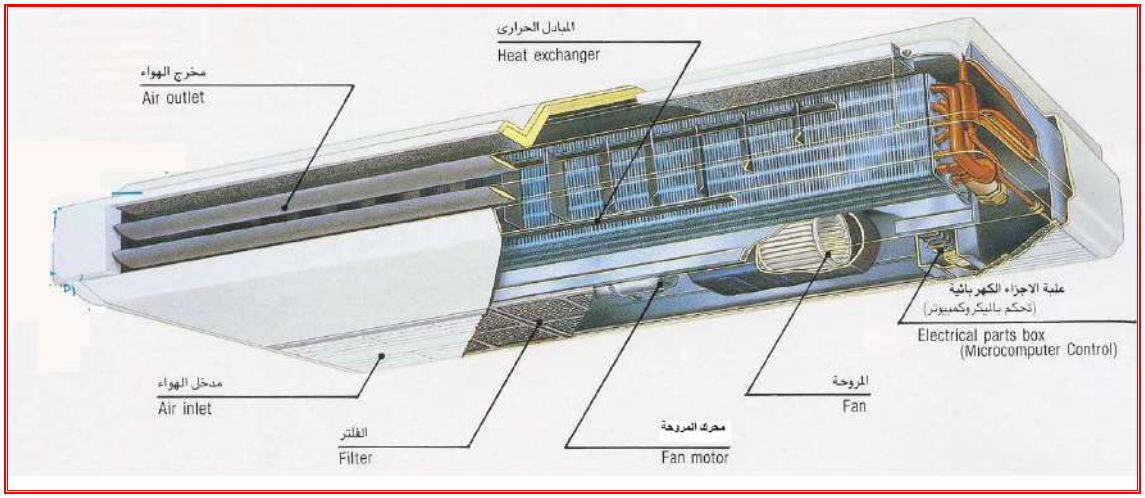
5- **لوحة السيطرة الإلكترونية Electronic Control Board**: تحتوى وحدات التكييف المنفصلة الحديثة على لوحة إلكترونية، يتم عن طريقها التحكم بعمل المكيف المنفصل والسيطرة على درجة الحرارة وسرعة الهواء، فضلاً عن مؤقت زمني يتم من خلاله التحكم بزمن تشغيل المكيف وإطفائه. ويستعمل جهاز التحكم عن بعد في السيطرة على عمل المكيف.

6- **ملف التدفئة الكهربائي Electrical Heater**: تحتوي بعض المكيفات المنفصلة على ملفات تدفئة كهربائية لغرض استعمال المكيف في التدفئة.

7- **حوض تجمع الماء المتكثف Drain Pan** : لغرض طرح بخار الماء المتكثف على المبخر إلى الخارج، يوضع حوض الماء أسفل المبخر، ويتصل الحوض بأنبوب بلاستيكي يعمل على طرح الماء المتكثف إلى خارج الغرفة.

8- **أداة التمدد Expansion Device**: تحتوي معظم الوحدات الداخلية على أداة التمدد، وغالباً ما يكون أنبوباً شعرياً. وفي الأنواع الحديثة تكون أداة التمدد داخل الوحدة الخارجية لتقليل الأصوات في الوحدة الداخلية.

ويبين الشكل (5-6) أجزاء وحدة التكييف الداخلية.



شكل 5-6 أجزاء وحدة التكييف الداخلية

ب - الوحدة الخارجية Outdoor Unit : تتكون الوحدة الخارجية من الأجزاء الآتية:

1- الضاغط Compressor: يكون الضاغط في وحدات التكييف المنفصل إما ترددياً أو دواراً وكما تم الذكر في مكيفات الهواء الجدارية، وقد تحتوي الوحدة الخارجية على أكثر من ضاغط إذا استعملت لتجهيز أكثر من وحدة داخلية.

2- المكثف Condenser : تستعمل شبكة من الأنابيب مصنوعة من النحاس أو الألمنيوم، ويتم زيادة سطح التكثيف عن طريق عمل عدة انحناءات في شبكة المكثف. فضلاً عن وجود الزعانف من الألمُنيوم على الأنابيب.

3- مروحة المكثف Condenser Fan: تستعمل مروحة محورية في الوحدات الخارجية، وتعمل المروحة على سحب الهواء من الخارج وإمراره خلال المكثف ودفعه من الجهة الأخرى، وتستعمل المراوح ذات الأقطار الكبيرة لضمان دفع أكبر كمية من الهواء بأقل ضوضاء. ويبين الشكل (5-7) بعض أجزاء الوحدة الخارجية.

شكل 5-7 الوحدة الخارجية لمكيف الهواء المنفصل

4-5 أنظمة تكييف الهواء المركزي Central Air-Conditioning Systems

يوجد نظام التكييف المركزي في البناية وبعيداً عن الأنظار، ويوضع إما خارج البناية وإما على سطحها وإما في غرفة مكائن خاصة لهذا الغرض. ويقسم نظام التكييف المركزي على قسمين، هما:

5-4-1 نظام التكييف المركزي باستخدام الوحدات المجمعة Packaged Units

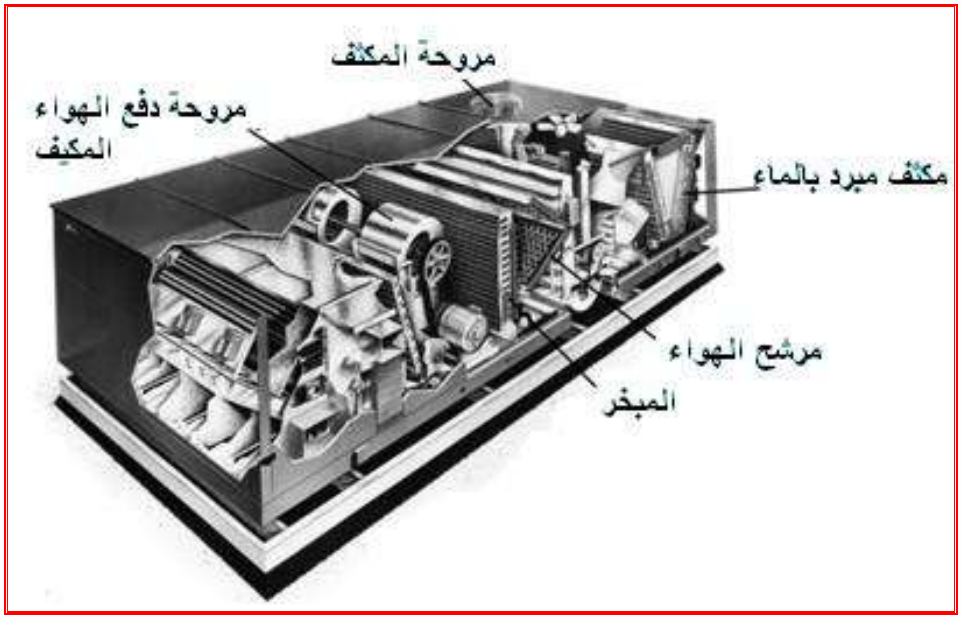
ويسمى أيضاً بنظام الهواء الكلي **All Air System** إذ يستعمل الهواء فحسب لنقل الحرارة من الحيز المراد تكييفه، وتستعمل الوحدات المجمعة لهذا الغرض، وتقسم الوحدات المجمعة على نوعين بحسب طريقة تبريد المكثف كما يأتي:

5-4-1-1 وحدات التكييف المجمعة المبردة بالهواء Air-Cooled Packaged Units

وتشتمل على الضاغط والمبخر وأداة التمدد، ومكثف مبرد بالهواء، وتستعمل غالباً في المطاعم والمخازن والمصارف والصالات وأحياناً في المنازل، وتمتاز بعدم حاجتها إلى ملحقات إضافية.

5-4-1-2 وحدات التكييف المجمعة المبردة بالماء Water-Cooled Packaged Units

وتختلف عن سابقتها بأن المكثف فيها يتم تبريده بواسطة الماء، وتستعمل في المؤسسات التجارية، والمطاعم، والوحدات السكنية، وتمتاز بكفاءة عالية للمكثف إذ إن الماء له القابلية على امتصاص الحرارة أكثر من الهواء، وتحتاج إلى ملحقات إضافية مثل برج التبريد ومضخات ماء وشبكات أنابيب وغيرها، ويبين الشكل (5-8) وحدة تكييف مجمعة يبرد مكثفها بالماء.



شكل 5-8 وحدة تكييف مجمعة مبردة بالماء

وتتكون الوحدات المجمعة بصورة عامة من الآتي:

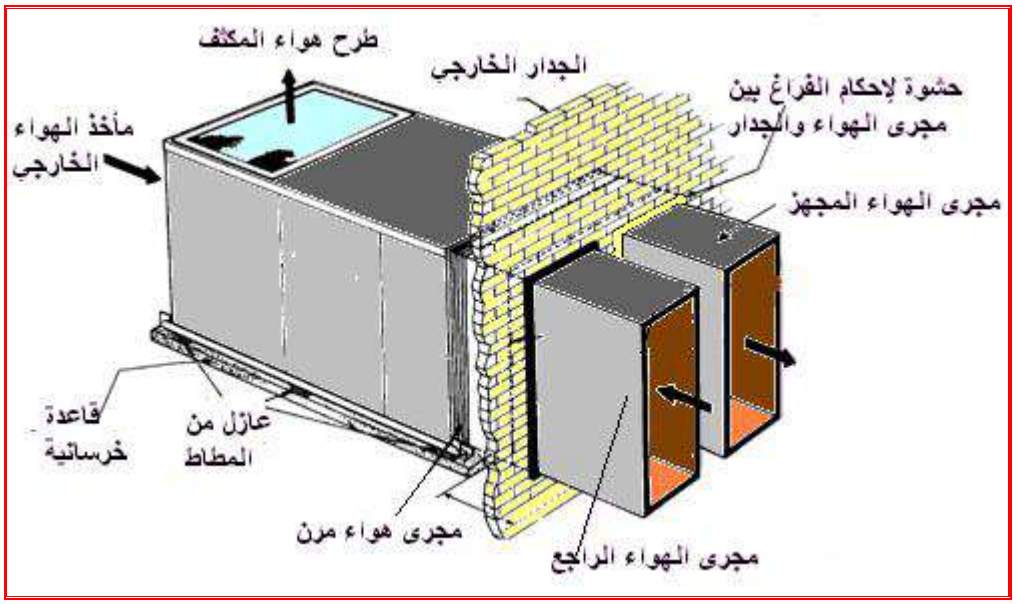
أولاً: جهة التثليج وتشتمل على:

1- **الضاغط Compressor**: ويكون عادة من النوع الترددي المغلق أو نصف المفتوح.
2- **المكثف Condenser**: ويكون من النوع المزعنف إذا كان المكثف مبرداً بالهواء، أو من نوع الأسطوانة والأنابيب إذا كان المكثف مبرداً بالماء.
3- **أداة التمدد Expansion Device**: يستعمل عادة في الوحدات المجمعة صمام التمدد الحراري (Thermostat Expansion Valve).
4- **المبخر Evaporator** : ويكون من النوع المزعنف ويقوم بتبريد الهواء المجهز إلى الغرفة.

ثانياً: جهة الهواء Air side

1- **مأخذ الهواء الخارجي Fresh Air Intake**: وهي الفتحة التي يتم بواسطتها سحب الهواء الخارجي، وتتكون من شبكة معدنية لمنع دخول المواد الغريبة، وخانق هواء للتحكم بكمية الهواء المسحوبة.
2- **ملف التسخين المسبق Pre-Heater** وهو جزء من أجزاء إزالة الرطوبة الزائدة من الهواء، ويستعمل لتسخين الهواء تسخيناً مسبقاً لتهيئته لعملية إزالة الرطوبة، وتتم السيطرة عليه عن طريق منظم إزالة الرطوبة.
3- **مأخذ الهواء الراجع Return Air Intake**: ويتم عن طريقه إعادة جزء من الهواء الراجع من الفضاء المكيف، ويتم خلطه مع الهواء النقي في صندوق الخلط، ويتم التحكم بكمية الهواء الراجع عن طريق خانقات للهواء.
4- **المرشح Filter**: ويوضع قبل المبخر لتنقية الهواء من الأتربة لمنع التصاقها بملف التبريد من جهة، ومن جهة أخرى لضمان تجهيز هواء نقي إلى الغرفة.
5- **وحدة إزالة الرطوبة Dehumidifier**: يستعمل ملف التبريد لغرضين، أحدهما تبريد الهواء إلى درجة الحرارة المطلوبة، والآخر هو إزالة الرطوبة من الهواء إلى الحد الذي يحقق راحة الإنسان.
6- **وحدة الترطيب Humidifier**: يستعمل لإضافة رطوبة إلى الهواء المجهز بما يحقق راحة الإنسان في الشتاء، وتتم عملية إضافة الرطوبة إلى الهواء إما عن طريق حقن الماء بصورة رذاذ، وإما عن طريق ضخ بخار الماء.
7- **المروحة Fan**: تستعمل مروحة الطرد المركزي عادة في تجهيز الهواء إلى الغرفة، إذ تمتاز مراوح الطرد المركزي بتوفير ضغط عالٍ للهواء المجهز بما يتيح له السريان في مجاري الهواء وفتحات تجهيز الهواء.
8- **شبكة مجاري الهواء Ducting Systems**: وتحتوي على مجاري الهواء بجميع أنواعها فضلاً عن شبابيك وناشرات الهواء، والهدف منها إيصال الهواء المكيف إلى الفضاءات المراد تكييفها.

ويبين الشكل (5-9) وحدة تبريد مجمعة وكيفية نصبها بالخارج.



شكل 5-9 وحدة تكييف مجمعة ويبين فيها طريقة النصب

ثالثا: جهة التدفئة Heating Side

ملف التسخين: ويستعمل لرفع درجة حرارة الهواء المكيف بما يلائم راحة الإنسان شتاءً أو إذا دعت الحاجة إلى ذلك، ويكون ملف التسخين كهربائياً.

رابعا: جهة الماء Water Side

وتشمل هذه الفقرة وحدات التكييف المجمعة المبرد مكثفها بالماء، وتشمل ما يأتي:

1- **مضخات الماء Water Pumps**: تستعمل مضخات الطرد المركزي لغرض سحب الماء من أبراج التبريد Cooling Towers ودفعه إلى المكثفات المبردة بالماء.
2- **أبراج التبريد Cooling Towers** تقوم أبراج التبريد بتبريد الماء الساخن الخارج من المكثف لإعادة استعماله مرة ثانية في تبريد المكثف.
3- **شبكة أنابيب الماء Water Piping System**: وهي الشبكة المسؤولة عن ربط المكثف المبرد بالماء ببرج التبريد عبر المضخات، وتشمل على صمامات وأجهزة سيطرة أخرى.

2-4-5 نظام التكييف المركزي باستخدام مثلجات الماء Water Chillers

يحتوي هذا النظام على مثلجات ماء، ومثلجات الماء تتكون من وحدة تثليج ذات مبخرات من نوع الأسطوانة والأنابيب، إذ يمر مائع التثليج في الأسطوانة في حين يمر الماء داخل الأنابيب، كما هو مبين في الشكل (5-10)، وتقوم مثلجات الماء بخفض درجة حرارة الماء إلى درجة حرارة تتراوح من 5 إلى 6°C، يدفع الماء المثلج إلى وحدات ثانوية مثل دافعات هواء Air Handling Units أو وحدات مروحة وملف Fan Coil Units، وعلى هذا الأساس يحتوي هذا النوع من أنظمة التكييف على مثلجات الماء، وتقسم مثلجات الماء على قسمين هما حسب أنواع الضاغطات المستعملة كما يأتي:

- **مثلجات ماء ذات ضواغط ترددية Reciprocating Compressors Water Chiller**

تتراوح سعة مثلجات الماء ذات الضواغط الترددية بين 80 إلى 200 طن تثليج، وتكون الضواغط إما من النوع المفتوح وإما من النوع نصف المفتوح، وتكون مكثفاتها مبردة بالماء عادة، إلا في حالة مثلجات الماء ذات السعات الصغيرة إذ يمكن أن يبرد المكثف بالهواء.

- **مثلجات ماء ذات ضواغط طرد مركزي Centrifugal Compressors Water Chiller**

يستعمل هذا النوع في مثلجات الماء ذات السعات العالية التي تتراوح من 200 إلى 750 طن تثليج أو أكثر، حيث يستعمل ضاغط الطرد المركزي قوة الطرد المركزي في رفع ضغط بخار مائع التثليج، وتستعمل موائع التثليج ذات درجات الغليان العالية، إذ كان يستعمل R-11، وبسبب تأثيره السيء على طبقة الأوزون استعيض عنه بمائع التثليج R-23 الصديق لطبقة الأوزون، لأن جهده في نفاذ طبقة الأوزون يساوي صفراً وجهده في الاحترار العالمي ضئيل.

شكل 5-10 مبخرات مثلجات الماء نوع الأسطوانة والأنابيب

يقسم نظام التكييف المركزي باستعمال مثلجات الماء على قسمين، هما:

5-2-4-1 نظام وحدات دفع الهواء Air Handling Units

تتكون وحدة دفع الهواء كما في الوحدات المجمعة من عدد من الأجزاء، والاختلاف الوحيد بينهما هو إن وحدات دفع الهواء لا تحتوي على وحدة تثليج أو مبخر، وإنما تحتوي على ملف يستقبل الماء المثلج الذي تم تبريده بواسطة مثلجات الهواء. ويمكن تقسيم وحدات دفع الهواء على عدة أجزاء كما يأتي:

أولا: أجزاء جانب الهواء (Air Side) وتقسم على:

1- مأخذ الهواء الخارجي Fresh Air Intake
2- ملف التسخين المسبق Preheated
3- مأخذ الهواء الراجع Return Air Intake
4- المرشح Filter
5- وحدة إزالة الرطوبة Dehumidifier
6- وحدة الترطيب Humidifier
7- المروحة Fan
8- شبكة مجاري الهواء Ducting System

ثانيا: جهة التبريد Cooling Side: وتشتمل على ملف التبريد الذي يتسلم الماء المثلج من مثلجات الماء.

ثالثا: أجزاء جانب جهة الماء Water Side: وتستعمل إذا كانت المنظومة تستعمل الماء المثلج في تبريد الهواء في المنظومات ذات المكثفات المبردة بالماء، وكذلك المنظومات التي تستعمل الماء الساخن أو البخار في تسخين ملفات التسخين، وتشتمل جهة الماء على:

1. **مضخات الماء Water Pumps**

تستعمل مضخات ماء من نوع (مضخة الطرد المركزي) لدفع الماء المثلج أو الساخن إلى الوحدات الفرعية أو دافعات الهواء Air Handling Units فضلاً عن مضخات أخرى تقوم بسحب الماء من أبراج التبريد Cooling Towers ودفعه إلى المكثفات المبردة بالماء.

2. **شبكة أنابيب الماء Water Piping System**

وهي الشبكة المسؤولة عن إيصال الماء المثلج أو الماء الساخن إلى الوحدات الفرعية أو دافعات الهواء، وتحتوي الشبكة على عدة ملحقات منها صمامات الماء الثنائية وصمامات الخلط والمسيطرات وغيرها من الملحقات. فضلاً عن شبكة ماء تبريد المكثف التي تكون مستقلة بذاتها.

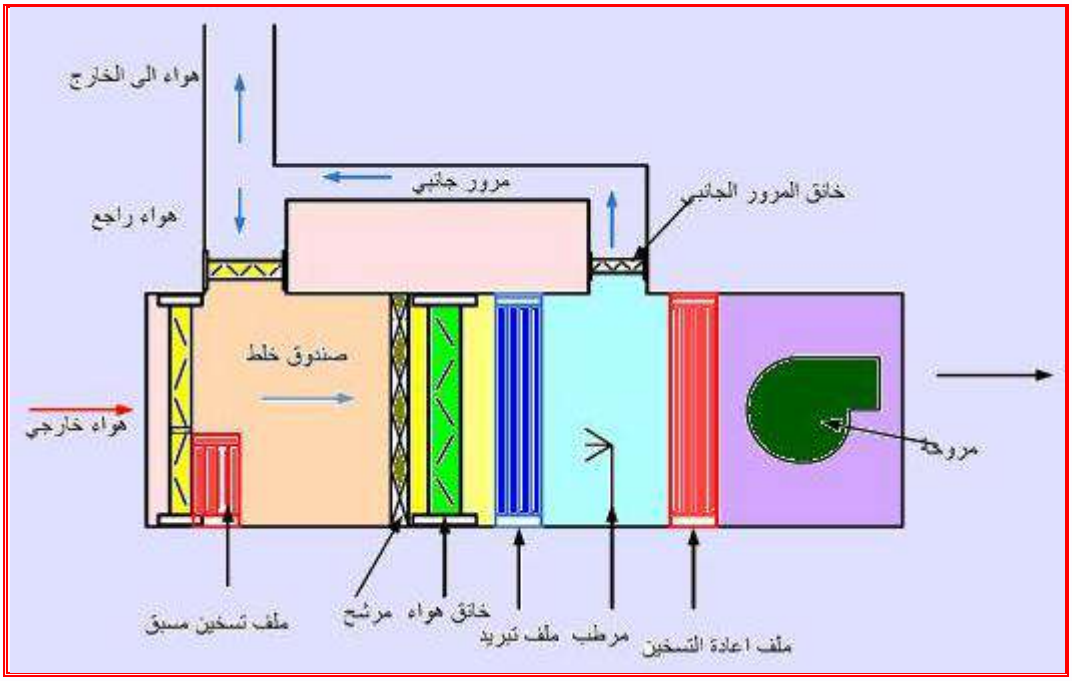
3. **أبراج التبريد Cooling Towers**

وتستعمل في منظومات التبريد ذات المكثفات المبردة بالماء، وتقوم أبراج التبريد بتبريد الماء الساخن الخارج من المكثف لإعادة استعماله مرة ثانية في تبريد المكثف.

رابعاً: جهة التدفئة Heating Side

وتشتمل على ملف التسخين الذي يستلم الماء الساخن من المراجل التي تقوم بتوفير الماء الساخن وسنأتي على شرح الموضوع السابق لاحقاً إن شاء الله في موضوع التدفئة بالماء الساخن.

ويبين الشكل (5-11) مقطع في وحدة دافعة الهواء.



شكل 5-11 مقطع في دافعة هواء في نظام تكييف مركزي

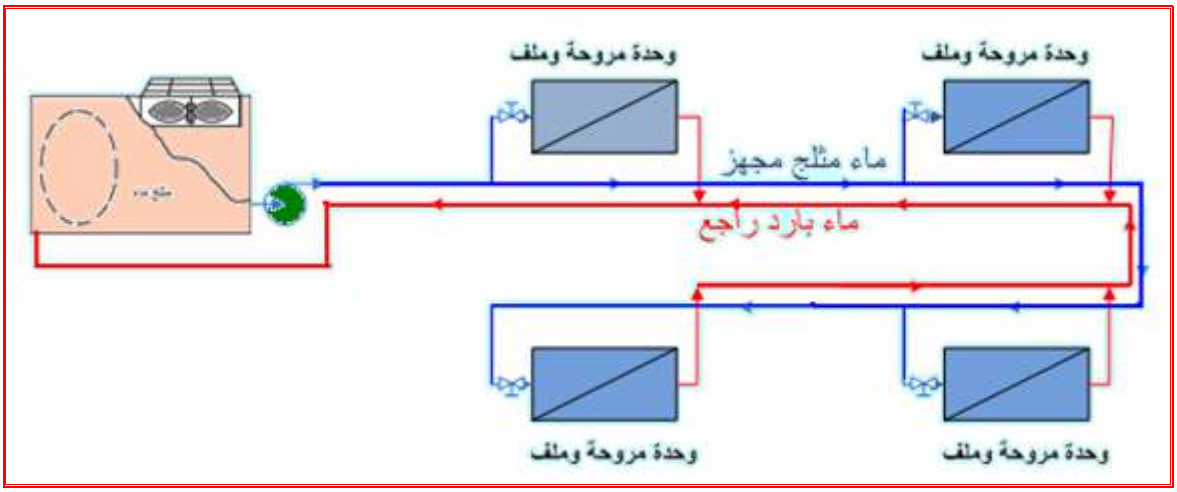
5-2-4-2 نظام وحدات المروحة والملف Fan Coil Units

تتكون وحدة المروحة والملف من صندوق يحتوي على مروحة تقوم بدفع الهواء على ملف تبريد يُستلم الماء المثلج من مثلجات الماء، ويتميز هذا النوع من الأنظمة بعدم حاجته إلى شبكات مجاري الهواء، وبالمقابل يتطلب الأمر نصب شبكات أنابيب مياه معقده، ويُعتمد هذا النظام بكثرة في المستشفيات، وذلك لتميزه باستقلالية لكل غرفة، مما يؤدي إلى عدم تدوير الهواء بين الغرف. وتقسم وحدات المروحة والملف بحسب أسلوب ربطها ببعضها على:

1- منظومة ثنائية الأنبوب مع إرجاع مباشر للماء

Two Piping System, Direct Return of Water

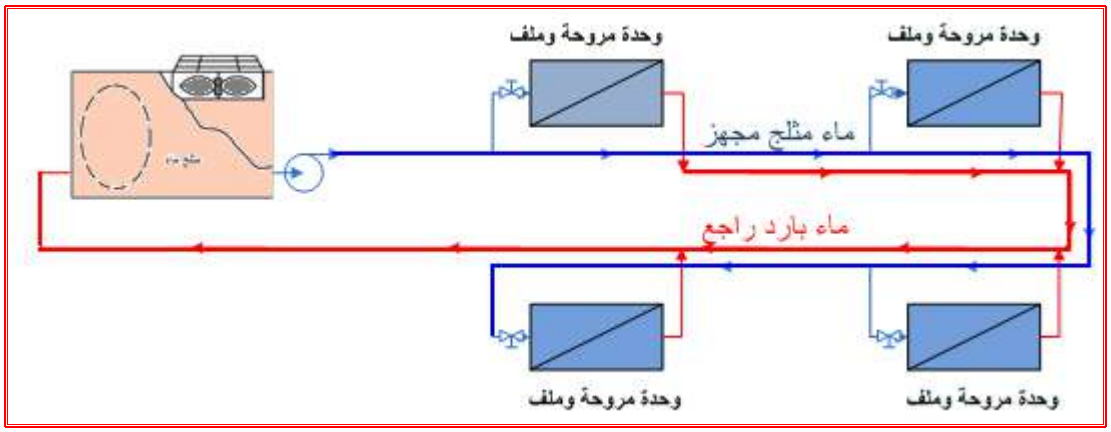
يتم استعمال أنبوبين، أحدهما لدفع الماء المثلج إلى وحدة المروحة والملف، والآخر يقوم بسحب الماء الذي ارتفعت درجة حرارته من وحدة المروحة والملف وإعادته إلى مثلج الماء، ويتم إرجاع الماء مباشرة إلى مثلج الماء حال خروجه من كل وحدة. ومن مساوئ هذا النظام هو الاختلاف الكبير في خسائر الضغط بين وحدة وأخرى، لذا يتطلب الأمر إجراء موازنة لكل وحدة مروحة وملف لضمان إيصال كميات متساوية من الماء لكل وحدة، ويبين الشكل (5-12) وحدة مروحة وملف مع رجوع مباشر للماء.



شكل 5-12 منظومة ثنائية الأنبوب مع إرجاع مباشر للماء

2- منظومة ثنائية الأنبوب مع إرجاع عكسي للماء Two Piping System, Reversed Return of Water

تشابه النوع الأول من حيث عدد الأنابيب، وتختلف عنها بجعل مسار الماء لخطي الدفع والسحب متساوياً بالطول لكل وحدة، وبهذا نضمن خسائر ضغط متساوية لكل وحدة، وهذا يؤدي إلى تساوي في كمية الماء المارة في كل وحدة، ومن محاسنها إنها لا تحتاج إلى موازنة لكمية الماء كما هو مطلوب في النوع الأول. وكما مبين في الشكل (5-13).



شكل 5-13 منظومة ثنائية الأنبوب مع إرجاع عكسي للماء

3- منظومة ثلاثية الأنابيب Three Piping Water System

4- منظومة رباعية الأنابيب Four Piping System

وسيتم شرح النوعين أعلاه لاحقاً إن شاء الله في موضوع التدفئة بالماء الساخن.

5-5 نظام تكييف السيارة Automobile Air-Conditioning

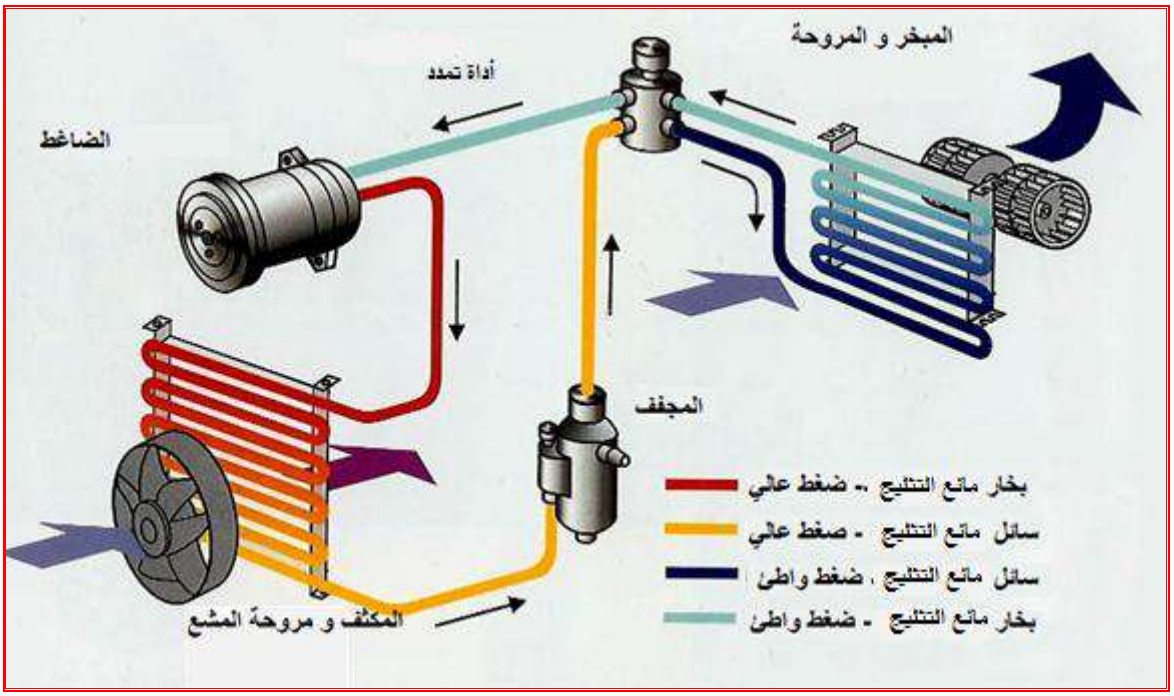
يتألف جهاز تكييف السيارة، كما في أنظمة التكييف الأخرى من أربعة أجزاء رئيسة وكما هو مبين في الشكل (5-14) وكما يأتي:

أولا: الضاغط Compressor

وهو من النوع المفتوح، ويدار خارجياً بواسطة محرك السيارة ولا سيما في الوحدات الصغيرة، وتستعمل عدة أنواع من الضاغطات في تكييف السيارات، وغالباً ما يتم استعمال الضواغط الترددية، كما مبين في الشكل (5-15 أ) التي تحتوي على مكابس ترددية تتحرك إما عمودية إلى الأعلى وإلى الأسفل، وإما تكون حركتها أفقية إلى الأمام وإلى الخلف. وعلى هذا الأساس تكون حركة المكبس بواسطة:

1- **عمود المرفق**: يستمد عمود المرفق حركته من محرك السيارة بواسطة البكرات والأحزمة الناقلة، وعند حركة عمود المرفق يقوم بدوره بتحريك المكبس إلى الأعلى وإلى الأسفل بصورة ترددية مما يؤدي إلى ضغط مائع التثليج ورفع ضغطه. ويبين الشكل (5-15 ب) بعض أنواع العمود المرفقي.

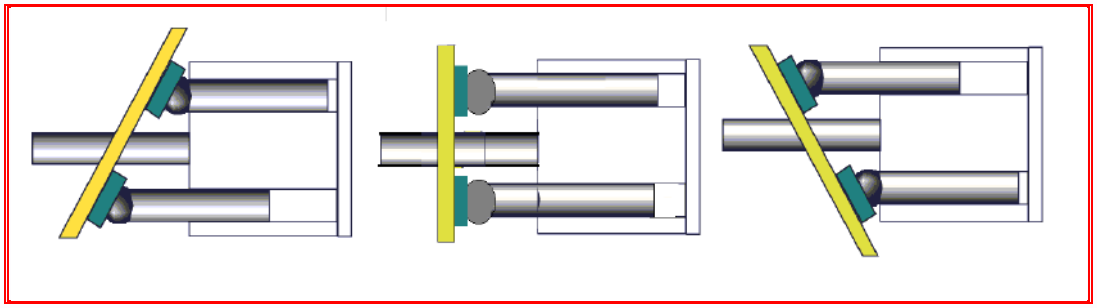
2- **الصفيحة المحورية Swash Plate**: ويبين الشكل (5-15 ج) الصفيحة المحورية التي تقوم بتحريك المكابس إلى الأمام وإلى الخلف بسبب حركتها كما مبين في الشكل (5-16).



شكل 5-14 دورة التثليج في السيارة

أ- ضاغط مكيف السيارة ب - العمود المرفقي ج - الصفيحة المحورية

شكل 5-15 الضاغط الترددي في السيارة



شكل 5-16 طريقة عمل الضاغط ذي الصفيحة المحورية

ثانياً: القابض المغناطيسي Electromagnetic Clutch:

يعمل القابض المغناطيسي على إيقاف الضاغط وتشغيله، إذ يقوم بوصل صفيحة القابض ببكرة الضاغط عند إيصال التيار الكهربائي إليه مما يؤدي إلى دوران العمود المرفقي أو الصفيحة المحورية، وفي حالة انخفاض درجة الحرارة داخل حيز السيارة يعطي منظم درجة الحرارة إشارة إلى المفتاح الكهربائي مما يؤدي إلى قطع التيار عن القابض المغناطيسي، وهذا يؤدي إلى فصل الاتصال بين القابض وبكرة الضاغط، فيتوقف عمل الضاغط. ويتألف القابض المغناطيسي من ثلاثة أجزاء رئيسة كما هو مبين في الشكل (5-17).

1- **صفيحة القابض Armature Plate**: وهي الجزء الأول في القابض المغناطيسي، وتثبت على محور الدوران للضاغط، وتمثل سطح الاحتكاك مع بكرة الضاغط (العضو الدوار) وتزود بنوابض لامتصاص الصدمة الأولى الناتجة من تحول الضاغط من الوقوف إلى الحركة.
2- **العضو الدوار (بكرة الضاغط) Pulley**: تقوم البكرة بنقل الحركة من محرك السيارة إلى الضاغط عن طريق محور الدوران.
3- **الملف الكهربائي Electrical Coil**: ويعمل الملف على توليد مجال مغناطيسي يؤدي إلى سحب صفيحة القابض إلى بكرة الضاغط، وبالتالي نقل الحركة من المحرك إلى الضاغط، ويزود الملف الكهربائي بتيار مستمر بفرق جهد مقداره (12 V).

شكل 5-17 القابض المغناطيسي لضاغط السيارة

ثالثا: المكثف Condenser:

ويتم تكثيف بخار مائع التثليج في المكثف عن طريق طرح الحرارة الكامنة لتبخر مائع التثليج إلى الخارج، ويوضع مكثف الدورة الانضغاطية إمام مشع السيارة ويستعمل الهواء الخارجي في تبريد المكثف، ويستعمل مكثف مدمج يحتوي على جزء لتبريد سائل مائع التثليج تبريداً فائقاً فضلاً عن المجفف ووعاء الاستلام لتجميع سائل مائع التثليج، ويبين الشكل (5-18) مكثف السيارة وخزان السائل.

شكل 5-18 مكثف السيارة ووعاء الاستلام فيه مجفف ومصفي

رابعا: المبخر Evaporator:

يستعمل المبخر كما هو معروف على إمرار مائع التثليج بحالته السائلة، إذ يمر الهواء الساخن على المبخر مما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة الهواء، وبالمقابل تبخر سائل مائع التثليج في المبخر. ويعمل المبخر أيضاً على إزالة الرطوبة الزائدة من الهواء بحيث يلائم متطلبات راحة الإنسان.

خامساً: أداة التمدد Expansion Device:

تستعمل أداة التمدد لخفض ضغط سائل مائع التثليج من الضغط العالي (ضغط التكثيف) إلى الضغط الواطئ (ضغط المبخر) ليتبخر عند درجات حرارة أدنى، وتستعمل عدة أنواع من أدوات التمدد منها:

1- **أنبوب التمدد Orifice Tube**: ويستعمل بكثرة في أنظمة تكييف السيارة لسهولته ويتكون من أنبوب نحاسي بطول يتراوح من 70 إلى 80 ملم، ويزود بمرشح في بدايته لمنع دخول الأجسام الغريبة أو الزيوت المتكتلة، ويربط هذا الأنبوب ببداية المبخر، ويحتوي على ثقب صغير، ومن مساوئ هذا النظام هو إمكانية انسداده بسهولة، ويجب إبداله بآخر عند حدوث الانسداد. ويبين الشكل (5-19 أ) أنبوب التمدد.
2- **صمام التمدد الحراري Thermostatic Expansion Valve**: ويعمل صمام التمدد الحراري على السيطرة على تدفق مائع التثليج فضلاً عن وظيفته الرئيسة في خفض الضغط، ويتميز بكفاءة عالية في السيطرة على درجات الحرارة في حيز السيارة تبعاً لاختلاف الحمل الحراري المسلط على السيارة، ويبين الشكل(5-19 ب) صمام التمدد الحراري.

شكل 5-19 أنبوب التمدد وصمام التمدد الحراري

سادساً: الملحقات الأخرى Accessories

يحتوي مكيف السيارة على ملحقات أخرى لغرض إتمام دورة التثليج في السيارة ومن هذه الملحقات:

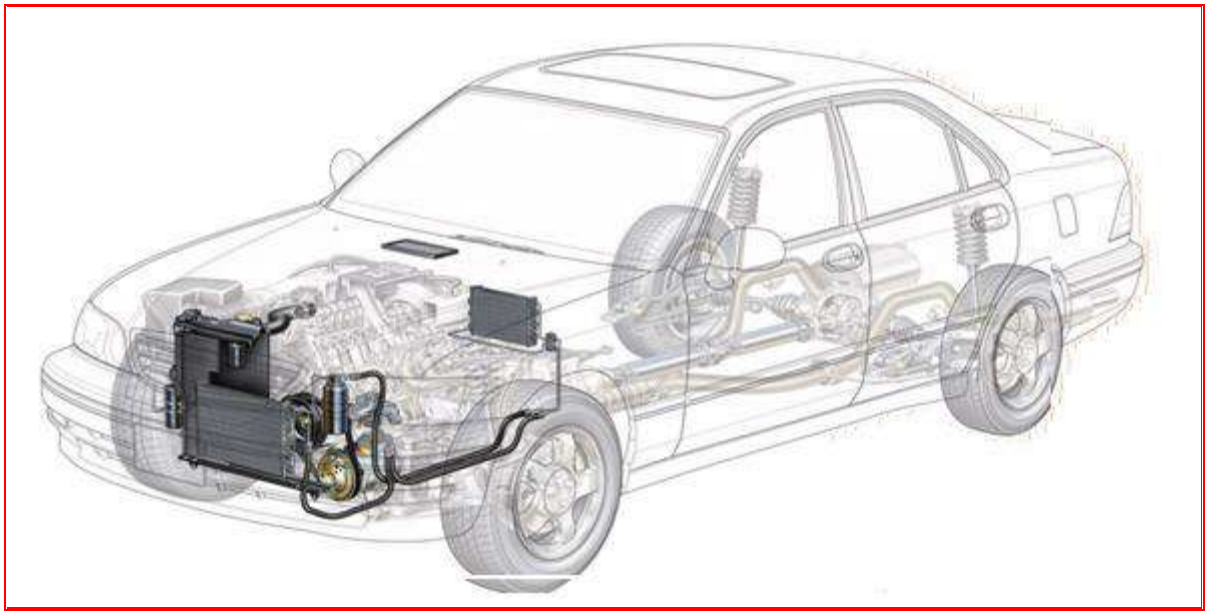
1- **وعاء الاستلام Liquid Receivers**: لغرض تجميع السائل الخارج من المكثف.
2- **وعاء استلام مجفف Receiver Dryer**: يركب بين المكثف وأداة التمدد، لإزالة الرطوبة وفصل بخار مائع التثليج لضمان مرور مائع التثليج بحالة سائلة فحسب ولضمان تزويد المبخر بكمية مناسبة من مائع التثليج.

3- **وعاء الفصل Accumulator**: يقوم وعاء الفصل بفصل السائل عن بخار مائع التثليج لمنع دخول سائل مائع التثليج إلى الضاغط.
4- **الأنابيب المرنة Hoses**: وتصنع الأنابيب التي تربط أجزاء منظومة التثليج في السيارة من المطاط المسلح، وذلك لتقليل عمليات اللحام داخل السيارة فضلاً عن تحمل هذه الأنابيب للحركة والاهتزازات التي تتعرض لها المنظومة في أثناء حركة السيارة.

ويبين الشكل (5-20) أجزاء ضاغط السيارة في حين يبين الشكل (5-21) أجزاء منظومة التثليج في السيارة، إما الشكل (5-22) فيبين موقع منظومة التثليج في السيارة.

شكل 5-20 أجزاء ضاغط السيارة

شكل 5-21 أجزاء منظومة التثليج في السيارة



شكل 5-22 موقع منظومة التثليج في السيارة

أسئلة الفصل الخامس

س1: ما العناصر الأساسية التي يتكون منها المكيف الجداري؟

س2: ما الفرق بين المكيف الجداري والمكيف المنفصل؟

س3: مم يتكون المكيف المنفصل؟

س4: عدد أجزاء الوحدة الداخلية للمكيف المنفصل.

س5: عدد أجزاء الوحدة الخارجية للمكيف المنفصل.

س6: ما أنواع منظومات التكييف المركزي؟

س7: مم تتكون وحدة دافعات الهواء؟ وما الفرق بينها وبين الوحدات المجمعة؟

س8: مم يتكون نظام وحدات المروحة والملف؟ وما الفرق بينها وبين وحدات التكييف المنفصلة؟

س9: ما هي مساوئ كل مما يأتي:

- منظومة ثنائية الأنبوب مع إرجاع مباشر للماء؟
- منظومة ثنائية الأنبوب مع إرجاع عكسي للماء؟

س10: ما فائدة القابض المغناطيسي في مكيف السيارة؟ وكيف يعمل؟

س11: املأ الفراغات الآتية بما يناسبها:

1. يستعمل المرطب في وحدات التكييف المركزية لزيادة ..... للهواء المجهز بما يحقق راحة الإنسان في فصل .....، إما عن طريق ..... وإما عن طريق .....
2. يستعمل ملف إعادة التسخين في الوحدات المركزية لرفع درجة حرارة الهواء المكيف ..... شتاءً.
3. تقوم أبراج التبريد بتبريد الماء الساخن ..... لإعادة استعماله مرة ثانية في .....
4. يستعمل نظام ..... بكثرة في المستشفيات، وذلك لتميزه باستقلالية لكل غرفة، مما يؤدي إلى عدم تدوير الهواء بين الغرف.
5. يربط منظم درجة الحرارة في نظام تكييف السيارة بـ ..... للسيطرة على درجة الحرارة داخل السيارة عن طريق إرسال إشارة إلى .....

الفصل السادس

منظومات نقل الهواء وتوزيعه

Ducting Systems

منظومات نقل الهواء وتوزيعه Ducting Systems

1-6 مقدمة Introduction

تقوم مجاري الهواء بنقل الهواء المكيف وتوزيعه من مصادر التكييف إلى الفضاءات المكيفة، وتستعمل المراوح في دفع الهواء عبر شبكة مجاري الهواء، ويتم التوزيع بسرع وضغوط معينة حتى تتحقق راحة الإنسان من ناحية السرعة والضوضاء، وبعد دفع الهواء إلى الفضاء المكيف يتطلب الأمر إعادة سحب الهواء ثم إرجاعه إلى منظومات التكييف لغرض إعادة تكييفه واستعماله مرة أخرى، ويجب أخذ العوامل التالية بالحسبان عند تصميم مجاري الهواء:

1- تحديد مواقع وحدات دفع الهواء.

2- حساب الحمل الحراري للبناية، ومن ثم حساب كمية الهواء المطلوبة لتغطية الحمل الحراري.

3- تحديد كمية الهواء اللازم لكل منطقة من المناطق المكيفة.

4- تحديد خسائر الاحتكاك بين الهواء ومجرى الهواء، ويجب أن تكون أقل ما يمكن، وذلك لتقليل معدل تدفق مراوح دفع الهواء.

2-6 خصائص مجاري الهواء

يجب مراعاة النقاط الآتية عند اختيار المادة التي تصنع منها مجاري الهواء:

1- غير قابلة للاشتعال.

2- مقاومتها العالية للتآكل والصدأ.

3- ذات معامل توصيل حراري واطئ.

4- ذات أسطح ناعمة لتقليل خسائر الاحتكاك.

5- سهلة التشكيل والتوصيل وخفيفة الوزن.

6- تصنع من مواد لا تضر بالصحة العامة وصديقة للبيئة.

ملاحظة

تكون مقاطع مجاري الهواء إما دائرية المقطع وإما مستطيلة المقطع، يستعمل المقطع المستطيل غالباً لسهولة تصنيعه من ناحية، ولحاجته إلى ارتفاع أقل من تلك المستديرة.

3-6 اعتبارات تصميمية

يجب الأخذ بالإمور التصميمية أدناه :

- تجنب الانحناءات الحادة والتوسعات المفاجئة.
- ألا تزيد نسبة ارتفاع مجرى الهواء إلى عرضه عن 6:1 إلا في الحالات الخاصة جداً بحيث لا تتجاوز هذه النسبة 10:1 في أية حال من الأحوال.
- يتم اعتماد السرع التالية في كل مقطع من مقاطع مجرى الهواء، كما مبين في الجدول (6-1).

الاستعمال	السرعة m/s		
	منزلي	مدارس وأماكن عامة	معامل
مأخذ الهواء الخارجي	3.5	4	5
المرشحات	1.3	1.5	1.8
ملفات التدفئة	2.3	2.5	3
غاسلات الهواء	2.5	2.5	2.5
ارتباط خط السحب	3.5	4	5
مخرج المروحة	8-5	10-6.6	12-8
المجرى الرئيس	4.5-3.5	6.6-5	9-6
المجرى الفرعي	3	4.5-3	5-4
المجرى الصاعد	2.5	3.5-3	4

جدول 6-1 السرع المسموح بها في مجاري الهواء

6-4 طرائق حساب أبعاد مجاري الهواء

يمكن حساب أبعاد مجاري الهواء بأربع طرائق شائعة، ولكل طريقة اعتباراتها التصميمية، وتُعد طريقة ثبوت هبوط الضغط أكثر الطرائق اعتماداً لسهولتها ودقتها. ويمكن ذكر ملخص لكل طريقة، كما يأتي:

1- طريقة فرض السرعة Assumed – Velocity Method

في هذه الطريقة يتم فرض سرعة معينة لكل مقطع من مقاطع مجرى الهواء بحسب الحدود المسموح بها، ومنها يتم حساب مساحة المقطع ومن ثم حساب أبعاد مجرى الهواء وخسائر الضغط في المجرى. تُعتمد هذه الطريقة في مجاري الهواء بسيطة التركيب.

2- طريقة هبوط الضغط المتساوي Constant-Pressure-Drop Method

هذه الطريقة هي الأكثر شيوعاً في حساب أبعاد مجاري الهواء، ويتم فيها حساب خسائر الاحتكاك (خسائر الضغط) لوحدة واحدة في المجرى الرئيس مثل باسكال لكل متر (Pa/m)، ومن ثم تُعد هذه القيمة ثابتة لجميع أجزاء مجرى الهواء.

3- طريقة موازنة خسائر الضغط Balanced-Pressure-Loss Method

ويتم في هذه الطريقة فرض خسائر الاحتكاك من مخرج المروحة إلى التفرع في المجرى الرئيس واعتبار هذه القيمة متساوية لكل منطقة تفرع.

4- طريقة إعادة كسب الضغط الاستاتيكي Static -Regain Method

ويتم فيها حساب المقدار المطلوب لإعادة استقرار الضغط لكل مقطع من مقاطع مجرى الهواء.

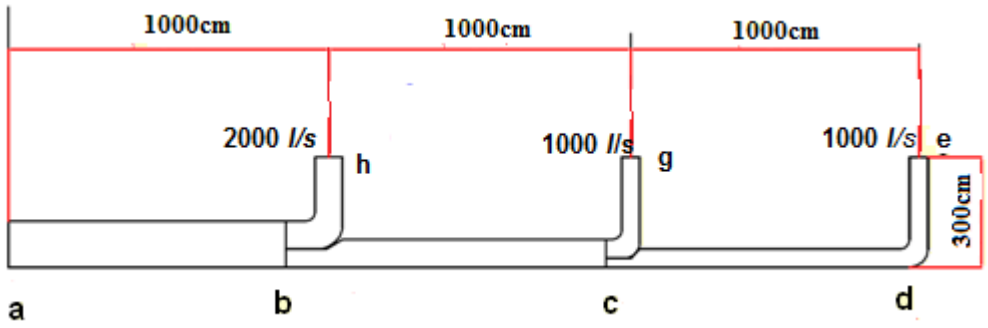
طريقة ثبوت هبوط الضغط Constant Pressure Drop Method

ستعتمد طريقة ثبوت الضغط في تصميم مجاري الهواء في هذا الفصل، وسيتم شرح هذه الطريقة بحل المثال الآتي:

مثال 1

احسب أبعاد مجرى الهواء المبين في الشكل، وكذلك خسائر الاحتكاك، إذا علمت إن أقصى سرعة في مجرى الهواء الرئيس هي 5.33 m/s، وأقصى ارتفاع لمجرى الهواء الرئيس هو 500 mm، اعتمد طريقة ثبوت هبوط الضغط.

الجواب



تتبع الخطوات التالية في حساب أبعاد مجرى الهواء أعلاه:

1- حساب كمية الهواء الكلية المارة في المجرى، وذلك عن طريق جمع معدل التدفق الحجمي للهواء في نهايات مجرى الهواء كما يأتي:

معدل تدفق حجم الهواء الكلي في مجرى الهواء الرئيسي (b – a)

$$\dot{V}_{a-b} = 1000 + 1000 + 2000 = 4000 \ \ell/s$$

2- حساب أبعاد مجرى الهواء باعتماد المعادلة الآتية:

$$\dot{V} = A \times v$$

إذ أن

$\dot{V}$	معدل تدفق الهواء المار في المجرى الرئيس	m^3/s
A	مساحة مقطع مجرى الهواء الرئيس	m^2
V	سرعة الهواء القصوى في المجرى الرئيس	m/s

$$m^3 = 1000 \ \ell \quad \rightleftarrows \quad 4000 \ \ell = 4 \ m^3$$

$$4 = A \times 5.33 \quad \rightleftarrows \quad A = 0.75 \ m^2$$

3- يحسب أبعاد مجرى الهواء الرئيس اعتماداً على ارتفاع مجرى الهواء الذي يكون معروفاً عن طريق تحديد أقصى ارتفاع له بحيث يتوافق مع متطلبات البناية (تصميم البناية). وبعد تطبيق المعادلة

$$A = W \times H$$

أدناه يمكن أن تحدد أبعاد مجرى الهواء الرئيس.

$$0.75= W \times 0.5$$

إذ يمثل الرقم 0.5 m أقصى ارتفاع لمجرى الهواء، كما تم توضيحه في المثال.

$$W = 1.5 \text{ m} = 1500 \text{ mm}$$

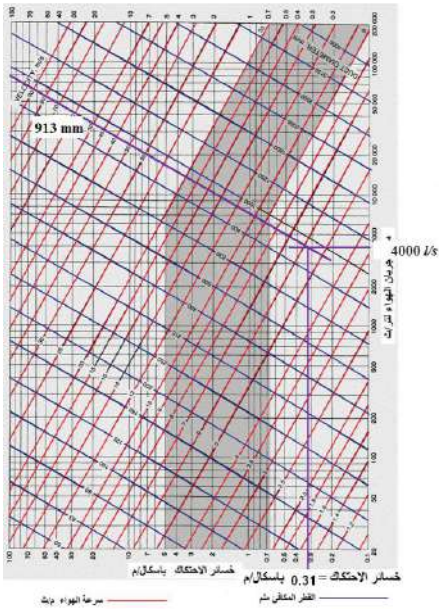
ويمثل عرض مجرى الهواء الرئيسي.

4- اعتماداً على الجدول (6-2) الذي يمثل القطر المكافئ لمجرى الهواء المستطيل، يستخرج قطر مجرى الهواء المكافئ اعتماداً على عرض مجرى الهواء الذي يساوي 1500 mm وارتفاع 500 mm وكما يأتي:

يحدد ارتفاع مجرى الهواء (500 mm) على المحور الأفقي وعرض مجرى الهواء (1500 mm) على المحور العمودي كما موضح في الجدول الآتي:

العرض mm \ الارتفاع mm	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	900
	القطر المكافئ																			
100	109																			
125	122	137																		
150	133	150	164																	
175	143	161	177	191																
200	152	172	189	204	219															
225	161	181	200	216	232	246														
250	169	190	210	228	244	259	273													
275	176	199	220	238	256	272	287	301												
300	183	207	229	248	266	283	299	314	328											
350	195	222	245	267	286	305	322	339	354	383										
400	207	235	260	283	305	325	343	361	378	409	437									
450	217	247	274	299	321	343	363	382	400	433	464	492								
500	227	258	287	313	337	360	381	401	420	455	488	518	547							
550	236	269	299	326	352	375	398	419	439	477	511	543	573	601						
600	245	279	310	339	365	390	414	436	457	496	533	567	598	628	656					
650	253	289	321	351	378	404	429	452	474	515	553	589	622	653	683	711				
700	261	298	331	362	391	418	443	467	490	533	573	610	644	677	708	737	765			
750	268	306	341	373	402	430	457	482	506	550	592	630	666	700	732	763	792	820		
800	275	314	350	383	414	442	470	496	520	567	609	649	687	722	755	787	818	847	875	
900	289	330	367	402	435	465	494	522	548	597	643	686	726	763	799	833	866	897	927	984
1000	301	344	384	420	454	486	517	546	574	626	674	719	762	802	840	876	911	944	976	1037
1100	313	358	399	437	473	506	538	569	598	652	703	751	795	838	878	916	953	988	1022	1086
1200	324	370	413	453	490	525	558	590	620	677	731	780	827	872	914	954	993	1030	1066	1133
1300	334	382	426	468	506	543	577	610	642	701	757	808	857	904	948	990	1031	1069	1107	1177
1400	344	394	439	482	522	559	595	629	662	724	781	835	886	934	980	1024	1066	1107	1146	1220
1500	353	404	452	495	536	575	612	648	681	745	805	860	913	963	1011	1057	1100	1143	1183	1260
1600	362	415	463	508	551	591	629	665	700	766	827	885	939	991	1041	1088	1133	1177	1219	1298
1700	371	425	475	521	564	605	644	682	718	785	849	908	964	1018	1069	1118	1164	1209	1253	1335
1800	379	434	485	533	577	619	660	698	735	804	869	930	988	1043	1096	1146	1195	1241	1286	1371
1900	387	444	496	544	590	663	674	713	751	823	889	952	1012	1068	1122	1174	1224	1271	1318	1405
2000	395	453	506	555	602	646	688	728	767	840	908	973	1034	1092	1147	1200	1252	1301	1348	1438
2100	402	461	516	566	614	659	702	743	782	857	927	993	1055	1115	1172	1226	1279	1329	1378	1470
2200	410	470	525	577	625	671	715	757	797	874	945	1013	1076	1137	1195	1251	1305	1356	1406	1501
2300	417	478	534	587	636	683	728	771	812	890	963	1031	1097	1159	1218	1275	1330	1383	1434	1532
2400	424	486	543	597	647	695	740	784	826	905	980	1050	1116	1180	1241	1299	1355	1409	1461	1561
2500	430	494	552	606	658	706	753	797	840	920	996	1068	1136	1200	1262	1322	1379	1434	1488	1589
2600	437	501	560	616	668	717	764	810	853	935	1012	1085	1154	1220	1283	1344	1402	1459	1513	1617
2700	443	509	569	625	678	728	776	822	866	950	1028	1102	1173	1240	1304	1366	1425	1483	1538	1644
2800	450	516	577	634	688	738	787	834	879	964	1043	1119	1190	1259	1324	1387	1447	1506	1562	1670
2900	456	523	585	643	697	749	798	845	891	977	1058	1135	1208	1277	1344	1408	1469	1529	1586	1696

يلاحظ أن التقاطع هو عند قطر المجرى المكافئ هو 913 mm.



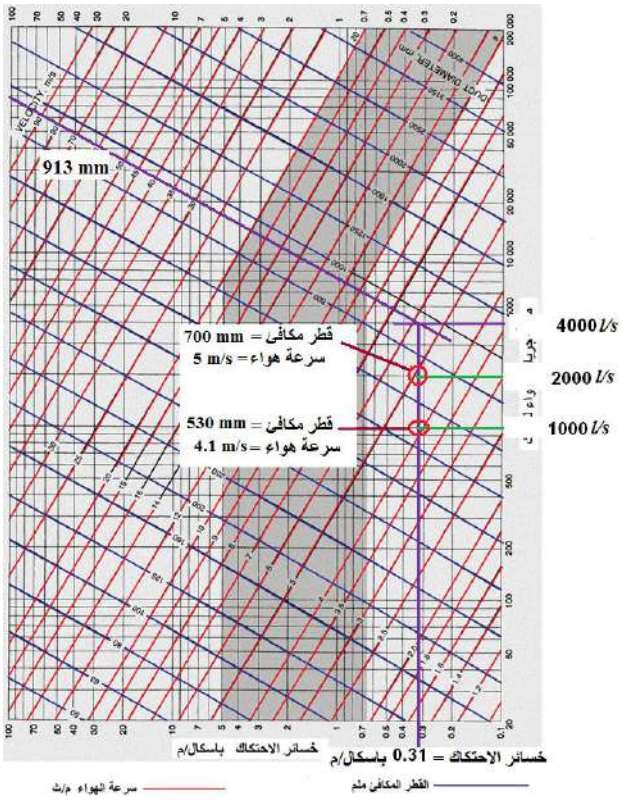
5- الشكل (6-1) يمثل العلاقة بين قطر المجرى المكافئ ومعدل تدفق الهواء وخسائر الاحتكاك (هبوط الضغط)، ومن تقاطع معدل تدفق الهواء الكلي مع القطر المكافئ يمكن تحديد خسائر الاحتكاك لكل متر من مجرى الهواء، كما مبين في الشكل المجاور

من التقاطع يلاحظ أن خسائر الاحتكاك تساوي 0.31 Pa/m وسرعة الهواء 5.4 m/s

6- يتم عمل الجدول الآتي، بعد أن يرمز إلى أجزاء مجرى الهواء بأحرف أو أرقام، كما مبين في الشكل السابق.

المقطع	حجم الهواء	العرض	الارتفاع	السرعة	القطر المكافئ
	ℓ/s	mm	mm	m/s	mm
a – b	4000	1500	500	5.4	913
b – c	2000			5	700
c – d	1000			4.1	530

7- من الشكل (6-1) بعد معرفة معدل تدفق الهواء لكل مقطع، يستخرج القطر المكافئ لكل مقطع من مقاطع مجرى الهواء، عن طريق تقاطع معدل تدفق الهواء 2000 ℓ/s مع الخط العمودي الذي يمثل خط ثبوت هبوط الضغط، وعند نقطة التقاطع يمكن قراءة قيمة القطر المكافئ التي تساوي 700 mm، وسرعة هواء تساوي 5 m/s، ومن تقاطع معدل تدفق الهواء 1000 ℓ/s مع الخط العمودي الذي يمثل خط ثبوت هبوط الضغط يتم قراءة القطر المكافئ 530 mm، وسرعة 4.1 m/s، كما مبين في الشكل الآتي:



8- وبالرجوع للجدول (6-2): ومن ارتفاع مجرى الهواء التصميمي الذي يساوي 500 mm، تتم قراءة أقرب رقم إلى القطر المكافئ (700 mm) والذي مقداره 726 mm، ومن هذا الرقم يتم تحديد

عرض مجرى الهواء ويساوي 900 mm.

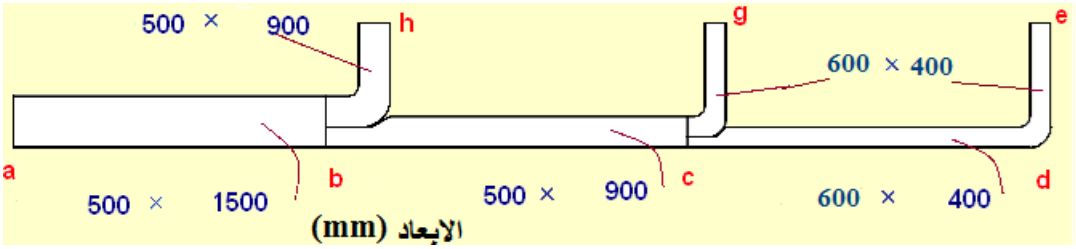
وبالتالي يكون القياس هو: عرض مجرى الهواء (900 mm) وارتفاعه (500 mm).

وبالعودة إلى الجدول (6-2)، يلاحظ أن تحت الارتفاع الذي مقداره 500 mm، لا يوجد رقم مقارب إلى القطر المكافئ 530 mm، لذا يتم اختيار ارتفاعاً جديداً لمجرى الهواء أصغر من الارتفاع التصميمي وليكن 400 mm، ومن ملاحظة أقرب رقم للقطر المكافئ 530 mm تحت الارتفاع 400 mm، نلاحظ أن الرقم على اليسار يساوي 600 mm، ولهذا يكون عرض مجرى الهواء يساوي (600 mm) وارتفاع (400 mm).

العرض mm / الارتفاع mm	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	900
	القطر المكافئ																			
100	109																			
125	122	137																		
150	133	150	164																	
175	143	161	177	191																
200	152	172	189	204	219															
225	161	181	200	216	232	246														
250	169	190	210	228	244	259	273													
275	176	199	220	238	256	272	287	301												
300	183	207	229	248	266	283	299	314	328											
350	195	222	245	267	286	305	322	339	354	383										
400	207	235	260	283	305	325	343	361	378	409	437									
450	217	247	274	299	321	343	363	382	400	433	464	492								
500	227	258	287	313	337	360	381	401	420	455	488	518	547							
550	236	269	299	326	352	375	398	419	439	477	511	543	573	601						
600	245	279	310	339	365	390	414	436	457	496	533	567	598	628	656					
650	253	289	321	351	378	404	429	452	474	515	553	589	622	653	683	711				
700	261	298	331	362	391	418	443	467	490	533	573	610	644	677	708	737	765			
750	268	306	341	373	402	430	457	482	506	550	592	630	666	700	732	763	792	820		
800	275	314	350	383	414	442	470	496	520	567	609	649	687	722	755	787	818	847	875	
900	289	330	367	402	435	468	499	529	558	613	665	715	763	799	833	866	897	927	984	
1000	301	344	384	420	454	486	517	546	574	626	674	719	762	802	840	876	911	944	976	1037
1100	313	358	399	437	473	506	538	569	598	652	703	751	795	838	878	916	953	988	1022	1086
1200	324	370	413	453	490	525	558	590	620	677	731	780	827	872	914	954	993	1030	1066	1133
1300	334	382	426	468	506	543	577	610	642	701	757	808	857	904	948	990	1031	1069	1107	1177
1400	344	394	439	482	522	559	595	629	662	724	781	835	886	934	980	1024	1066	1107	1146	1220
1500	353	404	452	495	536	575	612	648	681	745	805	860	913	963	1011	1057	1100	1143	1183	1260
1600	362	415	463	508	551	591	629	665	700	766	827	885	939	991	1041	1088	1133	1177	1219	1298
1700	371	425	475	521	564	605	644	682	718	785	849	908	964	1018	1069	1118	1164	1209	1253	1335
1800	379	434	485	533	577	619	660	698	735	804	869	930	988	1043	1096	1146	1195	1241	1286	1371
1900	387	444	496	544	590	633	674	713	751	823	889	952	1012	1068	1122	1174	1224	1271	1318	1405
2000	395	453	506	555	602	646	688	728	767	840	908	973	1034	1092	1147	1200	1252	1301	1348	1438
2100	402	461	516	566	614	659	702	743	782	857	927	993	1055	1115	1172	1226	1279	1329	1378	1470
2200	410	470	525	577	625	671	715	757	797	874	945	1013	1076	1137	1195	1251	1305	1356	1406	1501
2300	417	478	534	587	636	683	728	771	812	890	963	1031	1097	1159	1218	1275	1330	1383	1434	1532
2400	424	486	543	597	647	695	740	784	826	905	980	1050	1116	1180	1241	1299	1355	1409	1461	1561
2500	430	494	552	606	658	706	753	797	840	920	996	1068	1136	1200	1262	1322	1379	1434	1488	1589
2600	437	501	560	616	668	717	764	810	853	935	1012	1085	1154	1220	1283	1344	1402	1459	1513	1617
2700	443	509	569	625	678	728	776	822	866	950	1028	1102	1173	1240	1304	1366	1425	1483	1538	1644
2800	450	516	577	634	688	738	787	834	879	964	1043	1119	1190	1259	1324	1387	1447	1506	1562	1670
2900	456	523	585	643	697	749	798	845	891	977	1058	1135	1208	1277	1344	1408	1469	1529	1586	1696

9- يتم إكمال الجدول وكما يأتي:

المقطع	حجم الهواء	العرض	الارتفاع	السرعة	القطر المكافئ
	ℓ/s	mm	mm	m/s	mm
a – b	4000 يجمع لكل مجرى	1500 يحسب من المعادلتين	500 يفرض	5.4 من شكل (1-6)	913 من جدول (2-6)
b – c	2000	900 من جدول (2-6)	500 يفرض	5 من شكل (1-6)	700 من شكل(1-6)
c –d	1000	600 من جدول (2-6)	400 يفرض	4.1 من شكل (1-6)	530 من شكل (1-6)



يلاحظ توافق ابعاد مقطع مجرى الهواء مع تساوي معدل تدفق الهواء المار في كل مجرى.

خسائر الاحتكاك: تحصل خسائر الاحتكاك في مجاري الهواء لسببين هما:

- خسائر الضغط بسبب سريان الهواء في المجاري المستقيمة، **ويؤخذ أطول مسار لمجرى الهواء.**
- خسائر الضغط بسبب مرور الهواء في تراكيب مجاري الهواء من انحناءات وتفرعات ومرشحات.

أولاً: خسائر الاحتكاك بسبب سريان الهواء في مجاري الهواء المستقيمة، التي تمثل اطول مسار a-b-c-d-e في مجرى الهواء.

$$L_{a\text{-}b\text{-}c\text{-}d\text{-}e} = 1000+1000+1000+300 = 3300 \text{ cm} = 33 \text{ m}$$

من الشكل (6-1) تم استخراج خسائر الاحتكاك لكل متر، وكان يساوي 0.31 Pa/m

إذاً خسائر الاحتكاك بسبب سريان الهواء في المجاري المستقيمة

$$\Delta P_{a\text{-}b\text{-}c\text{-}d\,(L)} = 33 \times 0.31 = 10.23 \text{ Pa}$$

ثانياً: خسائر الاحتكاك بسبب تراكيب مجاري الهواء:

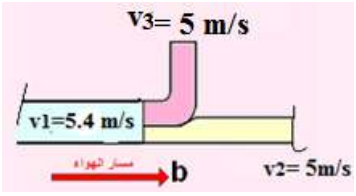
يتم اعتماد المعادلة الآتية لحساب خسائر الضغط (ΔP) في تراكيب مجاري الهواء:

$$\Delta P = 0.6 \times C \times v_2^2$$

إذ أن

ΔP	خسائر الضغط	**Pa**
C	معامل الاحتكاك - جدول (6-3)	
V	سرعة الهواء في المجرى الثانوي	**m/s**

وبعد الاطلاع على شكل مجرى الهواء يمكن ملاحظة أن الهواء يمر بالتراكيب الداخلية، وكما يأتي: التفرع b، والتفرع c، والانحناء d.



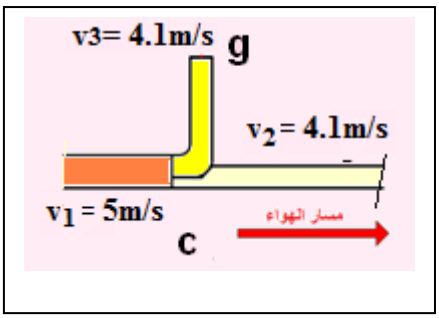
التفرع b:

بعد الاطلاع على شكل التفرع يلاحظ إن اتجاه الهواء هو أفقي، أي إن السرع المعتمدة هي 5.4 m/s المجرى الرئيسي و 5 m/s (سرعة الهواء في التفرع الأفقي) إذاً:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{5}{5.4} = 0.926$$

من الجدول (6-3- و) يلاحظ أن اقرب رقم إلى 0.926 هو 0.8 ولم يتم اختيار الرقم 1، لكون خسائر الاحتكاك المناظرة للرقم 0.8 هي أكبر من تلك التي تناظر الرقم 1، وهذا يعطي معامل أمان لضمان وصول الهواء إلى نهاية مجرى الهواء. لذا يكون معامل الاحتكاك C = 0.18 مناظرة للرقم (0.8).
وعلى هذا الأساس تكون خسائر الضغط تساوي:

$$\Delta P_b = 0.6 \times C \times v^2 = 0.6 \times 0.18 \times 5^2 = 2.7 \text{ Pa}$$



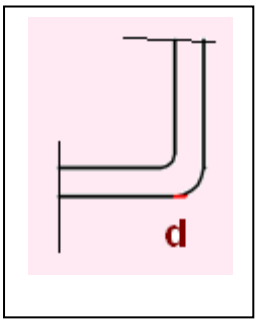
التفرع c:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{4.1}{5} = 0.82$$

من الجدول (6-3 و)، سيكون معامل الاحتكاك

C = 0.18 ، وخسائر الضغط في التفرع هي:

$$\Delta P_c = 0.6 \times 0.18 \times 4.1^2 = 1.8 \text{ Pa}$$



الانحناء d:

من الجدول (6-3 هـ)، وعند الانحناء d، تكون خسائر الاحتكاك تساوي 0.67، من خلال معامل الاحتكاك يمكن حساب خسائر الاحتكاك في الانحناء d كما يأتي:

$$\Delta P_d = 0.6 \times 0.67 \times 4.1^2 = 6.75 \text{ Pa}$$

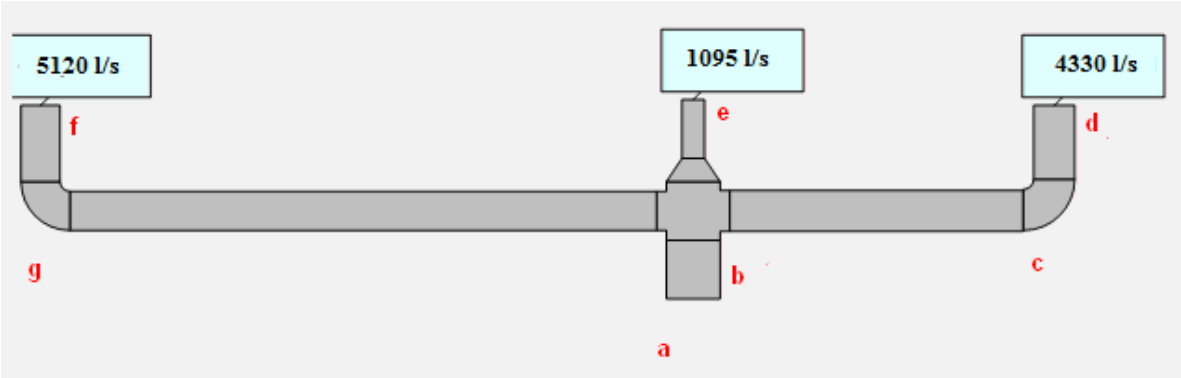
إذاً خسائر الاحتكاك في مجرى الهواء a-b-c-d-e

$$\Delta P_T = \Delta P_L + \Delta P_b + \Delta P_c + \Delta P_d = 10.23+2.7+1.8+6.75$$

$$= 21.48 \text{ Pa}$$

مثال2

احسب أقطار مجرى الهواء الدائري المبين أدناه، إذا علمت أن أقصى سرعة مسموح بها هي 7.2 m/s ، اعتمد طريقة ثبوت الضغط.



الجواب

تتبع الخطوات الآتية في حساب أبعاد مجرى الهواء أعلاه:

1- حساب كمية الهواء الكلية المارة في المجرى، وذلك عن طريق جمع معدل التدفق للهواء في نهايات مجرى الهواء وكما يأتي:

حجم الهواء الكلي في مجرى الهواء الرئيس a-b

$$\dot{V}_{a-b} = 4330 + 1095 + 5120 = 10545\ \ell/s = 10.545\ m^3/s$$

2- حساب إبعاد مجرى الهواء باعتماد المعادلة الآتية:

$$\dot{V} = A \times v$$

$$10.545 = A \times 7.2 \quad \rightleftarrows \quad A = 1.47\ m^2$$

مساحة مقطع مجرى الهواء الرئيسي تساوي $A = 1.47\ m^2$

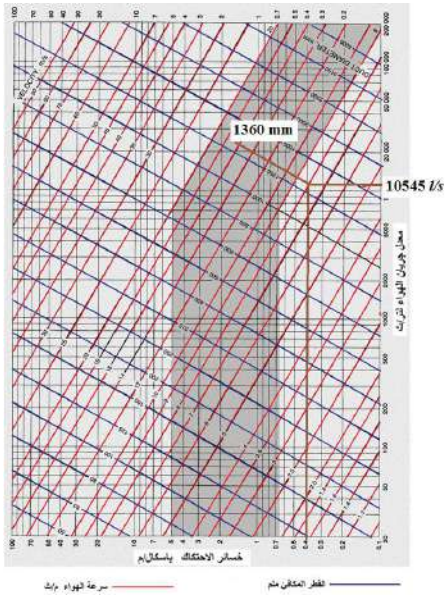
3- يحسب قطر مجرى الهواء الرئيسي، وبعد تطبيق المعادلة اللاحقة يمكن تحديد أبعاد مجرى الهواء الرئيس.

$$A = \frac{\pi}{4} \times D^2$$

$$D^2 = 4A/3.14 = 1.86\ m^2$$

$$D = \sqrt{1.86} = 1.36\ m$$

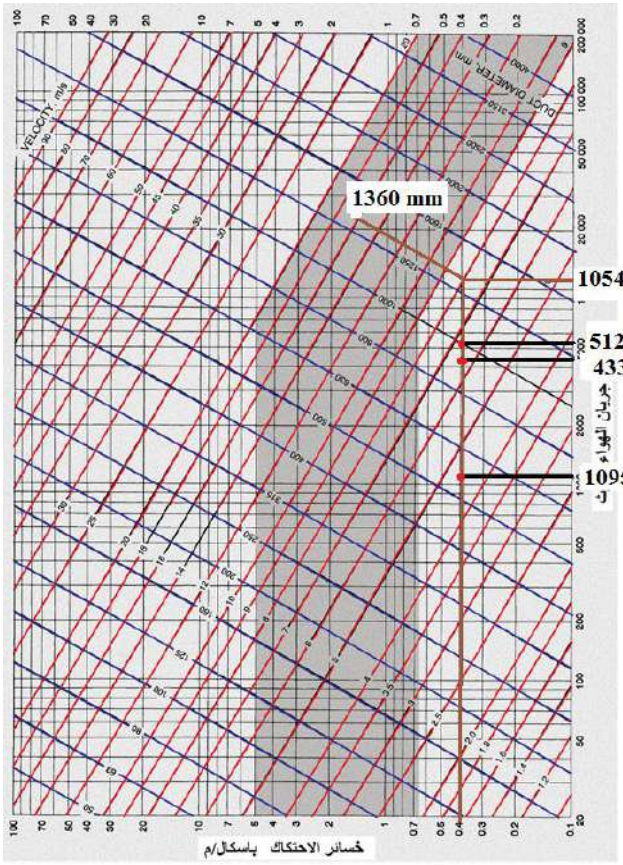
4- الشكل (6-1) يمثل العلاقة بين قطر مجرى الهواء المكافئ ومعدل تدفق الهواء وخسائر الاحتكاك، ومن تقاطع قطر مجرى الهواء 1360 mm، مع معدل تدفق الهواء الكلي (10545 ℓ/s) يمكن الحصول على الخط التصميمي الرئيس لخسائر الاحتكاك الذي يقع عند 0.4 Pa/m



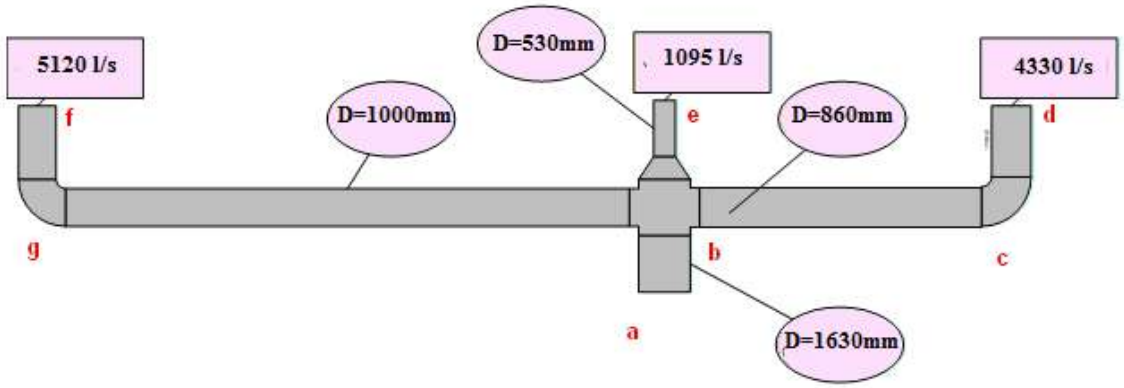
5- يتم عمل الجدول الآتي، بعد أن يرمز إلى أجزاء مجرى الهواء بأحرف أو أرقام، كما مبين في الشكل أعلاه.

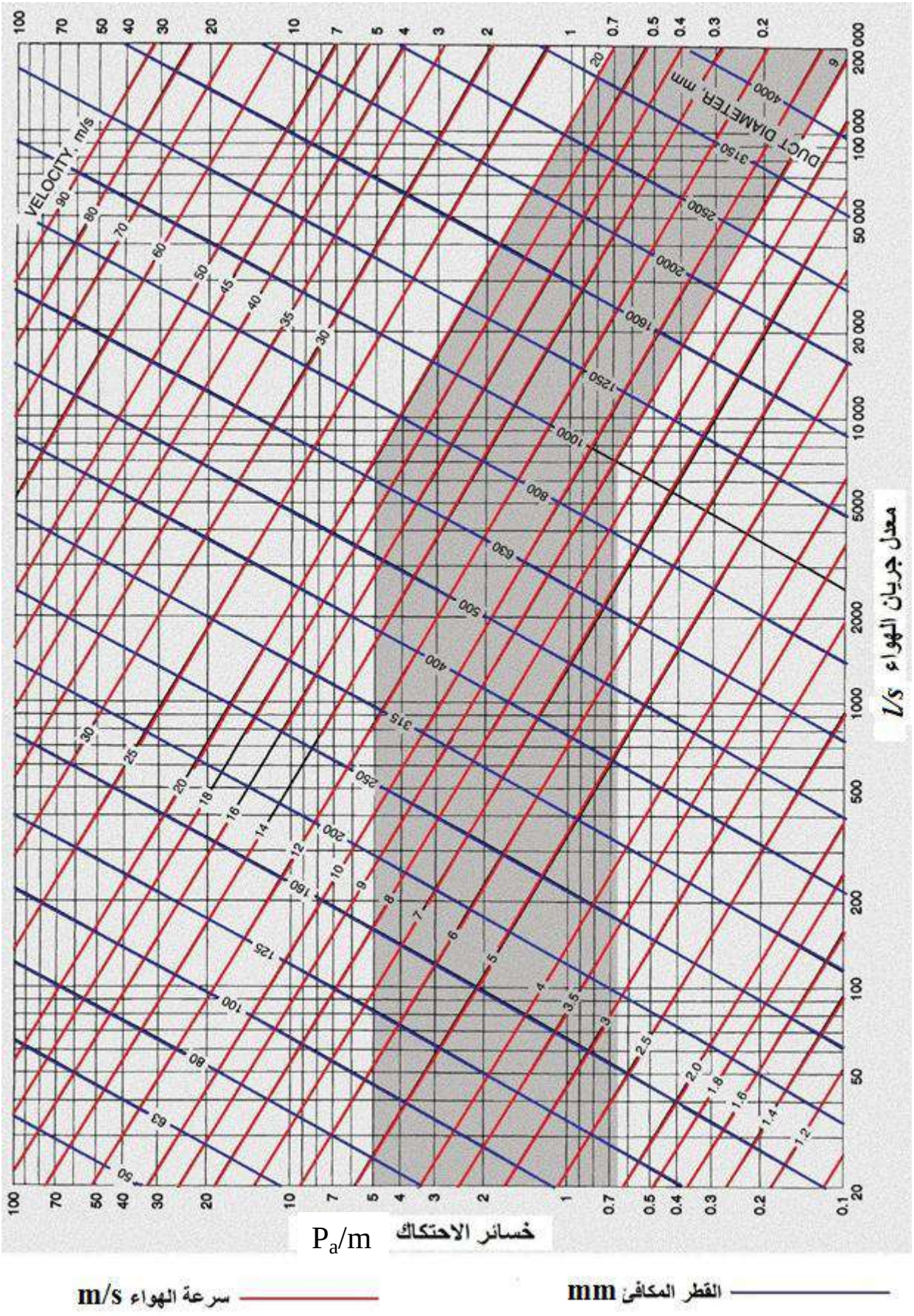
المقطع	حجم الهواء	السرعة	القطر المكافئ
	ℓ/s	m/s	mm
a-b	10545	7.2	1360
b-f	5120	5.8	1000
b-d	4330	5	860
b-e	1095	3.8	530

6- من الشكل (6-1) وبعد معرفة معدل تدفق الهواء لكل مقطع، يستخرج القطر المكافئ لكل مقطع من مقاطع مجرى الهواء، عن طريق تقاطع معدل تدفق الهواء 5120 ℓ/s مع الخط العمودي الذي يمثل خط ثبوت هبوط الضغط، وعند نقطة التقاطع يمكن قراءة قيمة القطر المكافئ ويساوي 1000 mm، وسرعة الهواء التي تساوي 5.8 m/s ، ومن تقاطع معدل تدفق الهواء 4330 ℓ/s مع الخط العمودي الذي يمثل خط ثبوت هبوط الضغط يمكن قراءة القطر المكافئ 860 mm ، وسرعة 4.1 m/s ، ومن تقاطع معدل تدفق الهواء 1095 ℓ/s مع الخط العمودي الذي يمثل خط ثبوت هبوط الضغط يمكن قراءة القطر المكافئ 530 mm ، وسرعة 3.8 m/s، وكما هو مبين في الشكل اللاحق:



وبهذا تكون أبعاد مجرى الهواء كما موضحة في الجدول السابق والشكل الآتي:





شكل 6-1 مخطط خسائر الاحتكاك مع معدل تدفق الهواء والقطر المكافئ لمجرى الهواء.

5-6 منظومات الهواء الراجع

يتم إرجاع جزء من الهواء المكَيف، الذي يتم سحبه من الغرفة، إلى منظومة التكييف مرة ثانية بعد خلطه بجزء من الهواء النقي، وبعد ذلك يتم إعادة تكييف الخليط مرة ثانية، وتستعمل هذه العملية لتقليل الحمل على منظومة التكييف. لذا يجب أن يزود نظام التكييف المركزي بمنظومة هواء راجع، فضلاً عن منظومة دفع الهواء، لذا يتم تزويد الغرف بشبابيك للهواء الراجع، إذ تربط هذه الشبابيك إلى خط سحب الهواء لمروحة التكييف المركزي، وفي بعض الأحيان تربط إلى مروحة مستقلة للقيام بعملية السحب.

وتقدر خسائر الاحتكاك لمنظومة الهواء الراجع بمقدار 80% من خسائر الاحتكاك لمنظومة دفع الهواء.

6-6 توزيع الهواء في الغرف

يُعد التوزيع الجيد للهواء المكيف في الغرفة من أساسيات راحة الإنسان، ويجب أن يحقق التوزيع الجيد للهواء في الغرفة العوامل الآتية:

1- يكون التغير في درجة حرارة الغرفة بمقدار درجة سيليزية واحدة من درجة الحرارة التصميمية للغرفة.

2- أن تكون سرعة الهواء داخل الغرفة (0.13-0.18) m/s للتطبيقات التي يكون فيها الأشخاص في حالة الجلوس، وفي التطبيقات التي يكون فيها الأشخاص في حالة حركة هي (0.25-0.4) m/s، وهذه السرع تبعث الراحة للإنسان.

3- يجب أن يحتوي نظام توزيع الهواء على:

- **مروحة تقوم بدفع الهواء في مجرى الهواء، على أن تتغلب على خسائر الضغط لجميع مكونات شبكة مجاري الهواء.**
- **مخارج الهواء داخل الغرف.**
- **منظومة الهواء الراجع التي تقوم بسحب الهواء من الغرف.**

1-6-6 أنواع مُعدات توزيع الهواء وسحبه في الغرف

تصنع مُعدات توزيع الهواء في الغرف عادة من الألمنيوم المطلي حرارياً، وتصنع بعدة أبعاد وإشكال اعتماداً على معدل تدفق الهواء الذي تقوم بدفعه وطبيعة الاستعمال. وتصنف أدوات دفع الهواء كما يأتي:

أ- مُعدات توزيع الهواء المكيف Conditioned Air Terminal Equipment

وتقسم إلى:

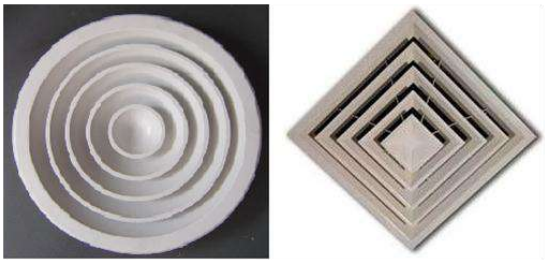
1- شبابيك الهواء الجدارية مع الحاكمات Grills and Registers

تتكون شبابيك الهواء وحاكماته من إطار مستطيل مركبة عليه زعانف متوازية، وتستعمل الزعانف في التحكم بمعدل تدفق واتجاه الهواء الخارج منه. وتركب أعلى الجدران في التبريد (وتحت الشبابيك في حالة التدفئة أحياناً). ويبين الشكل (6-2) بعض أنواع شبابيك الهواء مع الحاكمات.

2- الناشرات السقفية Ceiling Diffusers

تركب في السقف الثانوي للبناية، وتكون بعدة أشكال بحيث تتناسب مع تصاميم (ديكورات) الغرف، وتكون إما دائرية أو مربعة أو مستطيلة، ويتم اختيار الشكل بحيث يحقق توزيع أفضل للهواء. ويبين الشكل (3-6) بعض أنواع ناشرات الهواء السقفية.

شكل 6-2 شبابيك الهواء مع الحاكمات



شكل 6-3 الناشرات السقفية

3- موزعات الهواء الطولية Linear Diffuser or Slot Diffuser

وهي عبارة عن موزعات تمتاز بالطول، وتستعمل في سقوف القاعات الكبيرة، وغالباً ما توضع قرب الإنارة، كما هو موضح في الشكل (6-4).

شكل 6-4 موزعات الهواء الطولية

ب- تراكيب سحب الهواء الراجع Return Air Terminal

يتم تركيب أدوات الهواء الراجع في كل غرفة أو ممر من البناية، وقد تكون هذه الأدوات سقفية أو جدارية أو أرضية، وقد تكون دائرية أو مربعة أو مستطيلة أو طولية، ويبين الشكل (6-5) بعض أنواع تراكيب الهواء الراجع.

6-6-2 خانقات الهواء Air Volume Rate Damper

وتعمل خانقات الهواء على التحكم بمعدل التدفق للهواء، ويتم التحكم بها إما يدوياً أو كهربائياً.

شباك هواء راجع سقفي

شباك هواء راجع جداري

شباك هواء راجع طولي بصورة زاوية

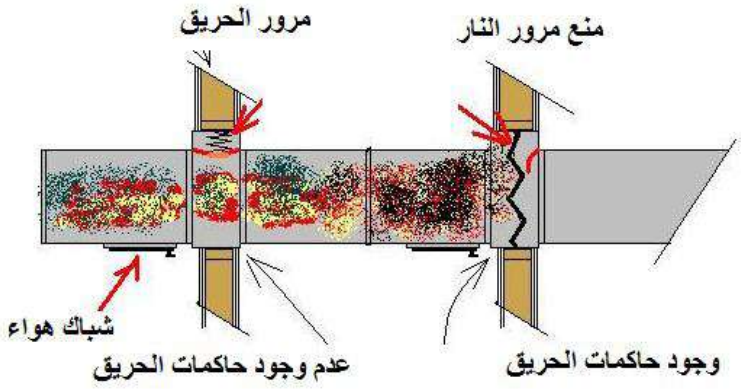
شباك هواء راجع جداري

شكل 6-5 تراكيب الهواء الراجع

3-6-6 حاكمات الحريق Fire Damper

وتستعمل في مجاري الهواء الرئيسة، الهدف منها منع انتشار النار داخل الأبنية بسبب تيارات الهواء، وتحتوي على نابض مثبت بقطعة معدنية قابلة للانصهار، فعند ارتفاع درجة الحرارة داخل المجرى تنصهر القطعة المعدنية وتغلق مجرى الهواء مانعة النار من الانتشار، كما مبين في الشكل (6-6).

أـ حاكمات الحريق



ب ـ أسلوب منع انتشار النار في مجرى الهواء

شكل 6-6 حاكمات الحريق

أسئلة الفصل السادس

س1: هواء يمر بمجرى هواء بمعدل $1.5\ m^3/s$، فإذا كانت أبعاد مجرى الهواء 0.3 m ارتفاعاً و0.5 m عرضاً، احسب القطر المكافئ لمجرى الهواء وخسائر الضغط، إذا كان طول مجرى الهواء 40 m.

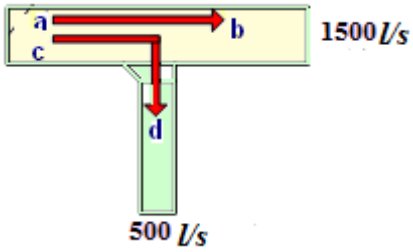
ج/ 420 mm ، 120 Pa

س2: هواء يدخل توسعاً مفاجئاً، فإذا كانت مساحة مقطع مجرى الهواء عند الخروج ضعف مساحة مقطع مجرى الهواء عند الدخول، وكانت سرعة الهواء بعد التوسع تساوي 12 m/s، احسب خسائر الضغط نتيجة مرور الهواء في التوسع المفاجئ.

ج/ 17.28 Pa

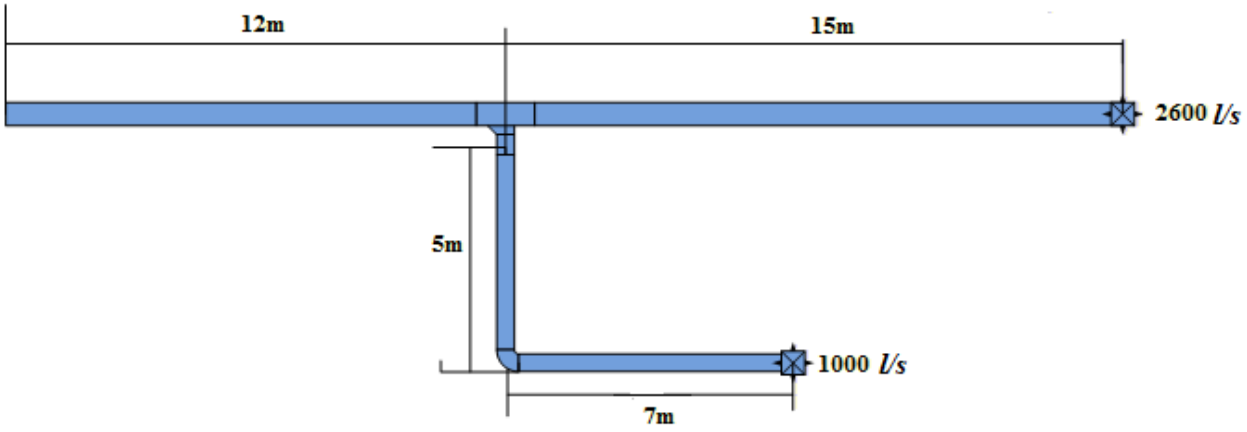
س3: جد أبعاد مقطع مجرى الهواء أدناه، إذا علمت أن أقل ارتفاع لمجرى الهواء الرئيس 30 cm، والسرعة القصوى 8 m/s، ثم جد خسائر الضغط بالتفرع d.

ج/ $(300 \times 830)mm$ ، $(300 \times 750)mm$ ، $(300 \times 360)mm$ ، 3.88 Pa



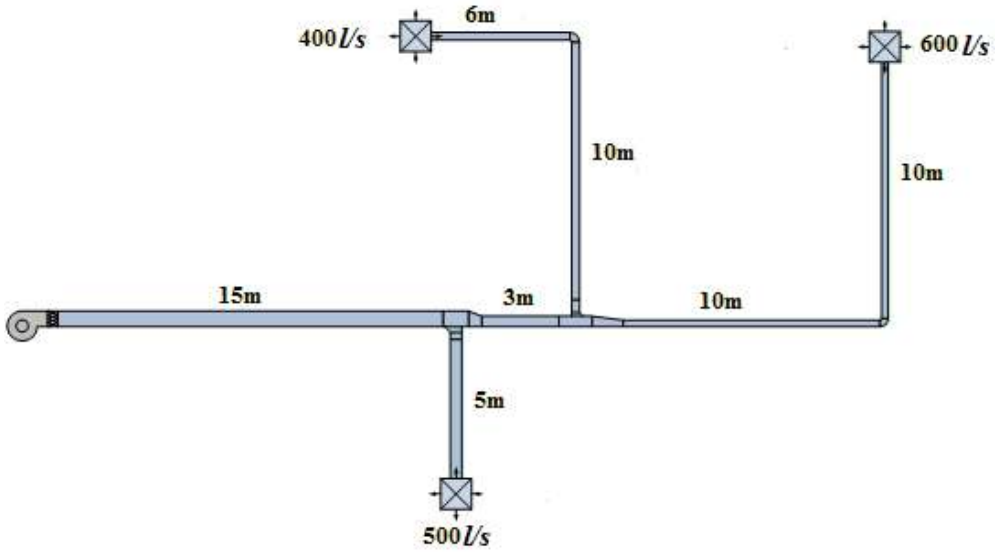
س4: احسب أبعاد وخسائر الضغط لمجرى الهواء الدائري المقطع، إذا علمت إن أقصى سرعة في مجرى الهواء الرئيس تساوي (10 m/s).

ج/ 40.5 Pa



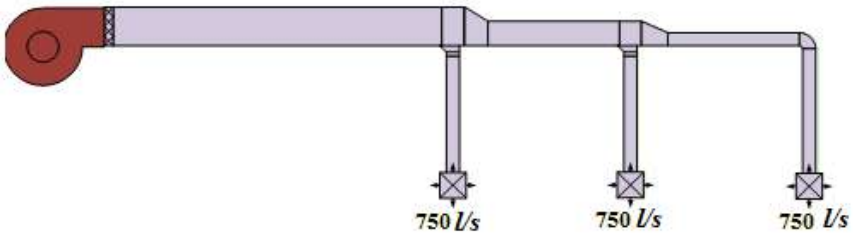
س5: جد أبعاد وخسائر الضغط في مجرى الهواء أدناه، بطريقة ثبوت الضغط، إذا علمت أن أقصى ارتفاع مسموح به لمجرى الهواء هو 30 cm، وان أقصى سرعة هي (6 m/s).

ج/ $(300 \times 830)mm$ ، $(300 \times 300)mm$ ، $(300 \times 450)mm$ ، $(300 \times 400)mm$
41 Pa



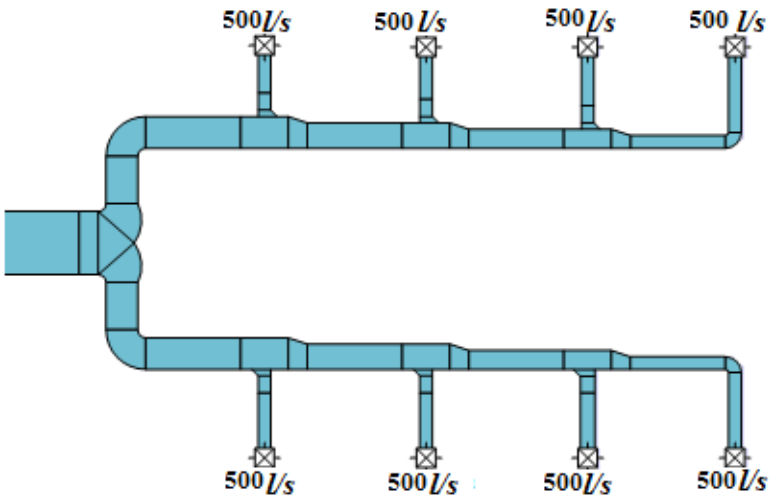
س6: جد أبعاد مجرى الهواء الدائري أدناه إذا علمت أن أقصى سرعة للهواء في المجرى الرئيس تساوي (9 m/s).

ج/ 560 mm ، 490 mm ، 470 mm



س7: جد أبعاد مجرى الهواء الدائري أدناه، إذا علمت أن أقصى سرعة للهواء في مجرى الهواء الرئيس تساوي (12 m/s).

ج/ 600 mm ، 500 mm ، 450 mm ، 390 mm ، 280 mm



جدول 6-2 القطر المكافئ لمجاري الهواء مستطيلة المقطع

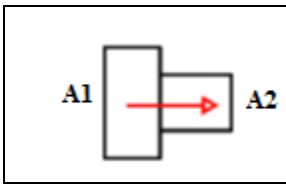
العرض mm	الارتفاع mm																			
	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	900
	القطر المكافئ																			
100	109																			
125	122	137																		
150	133	150	164																	
175	143	161	177	191																
200	152	172	189	204	219															
225	161	181	200	216	232	246														
250	169	190	210	228	244	259	273													
275	176	199	220	238	256	272	287	301												
300	183	207	229	248	266	283	299	314	328											
350	195	222	245	267	286	305	322	339	354	383										
400	207	235	260	283	305	325	343	361	378	409	437									
450	217	247	274	299	321	343	363	382	400	433	464	492								
500	227	258	287	313	337	360	381	401	420	455	488	518	547							
550	236	269	299	326	352	375	398	419	439	477	511	543	573	601						
600	245	279	310	339	365	390	414	436	457	496	533	567	598	628	656					
650	253	289	321	351	378	404	429	452	474	515	553	589	622	653	683	711				
700	261	298	331	362	391	418	443	467	490	533	573	610	644	677	708	737	765			
750	268	306	341	373	402	430	457	482	506	550	592	630	666	700	732	763	792	820		
800	275	314	350	383	414	442	470	496	520	567	609	649	687	722	755	787	818	847	875	
900	289	330	367	402	435	465	494	522	548	597	643	686	726	763	799	833	866	897	927	984
1000	301	344	384	420	454	486	517	546	574	626	674	719	762	802	840	876	911	944	976	1037
1100	313	358	399	437	473	506	538	569	598	652	703	751	795	838	878	916	953	988	1022	1086
1200	324	370	413	453	490	525	558	590	620	677	731	780	827	872	914	954	993	1030	1066	1133
1300	334	382	426	468	506	543	577	610	642	701	757	808	857	904	948	990	1031	1069	1107	1177
1400	344	394	439	482	522	559	595	629	662	724	781	835	886	934	980	1024	1066	1107	1146	1220
1500	353	404	452	495	536	575	612	648	681	745	805	860	913	963	1011	1057	1100	1143	1183	1260
1600	362	415	463	508	551	591	629	665	700	766	827	885	939	991	1041	1088	1133	1177	1219	1298
1700	371	425	475	521	564	605	644	682	718	785	849	908	964	1018	1069	1118	1164	1209	1253	1335
1800	379	434	485	533	577	619	660	698	735	804	869	930	988	1043	1096	1146	1195	1241	1286	1371
1900	387	444	496	544	590	663	674	713	751	823	889	952	1012	1068	1122	1174	1224	1271	1318	1405
2000	395	453	506	555	602	646	688	728	767	840	908	973	1034	1092	1147	1200	1252	1301	1348	1438
2100	402	461	516	566	614	659	702	743	782	857	927	993	1055	1115	1172	1226	1279	1329	1378	1470
2200	410	470	525	577	625	671	715	757	797	874	945	1013	1076	1137	1195	1251	1305	1356	1406	1501
2300	417	478	534	587	636	683	728	771	812	890	963	1031	1097	1159	1218	1275	1330	1383	1434	1532
2400	424	486	543	597	647	695	740	784	826	905	980	1050	1116	1180	1241	1299	1355	1409	1461	1561
2500	430	494	552	606	658	706	753	797	840	920	996	1068	1136	1200	1262	1322	1379	1434	1488	1589
2600	437	501	560	616	668	717	764	810	853	935	1012	1085	1154	1220	1283	1344	1402	1459	1513	1617
2700	443	509	569	625	678	728	776	822	866	950	1028	1102	1173	1240	1304	1366	1425	1483	1538	1644
2800	450	516	577	634	688	738	787	834	879	964	1043	1119	1190	1259	1324	1387	1447	1506	1562	1670
2900	456	523	585	643	697	749	798	845	891	977	1058	1135	1208	1277	1344	1408	1469	1529	1586	1696

تابع جدول 6-2 القطر المكافئ لمجاري الهواء مستطيلة المقطع

العرض mm	الارتفاع mm																			
	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	2900
	القطر المكافئ																			
1000	1093																			
1100	1146	1202																		
1200	1196	1256	1312																	
1300	1244	1306	1365	1421																
1400	1289	1354	1416	1475	1530															
1500	1332	1400	1464	1526	1584	1640														
1600	1373	1444	1511	1574	1635	1693	1749													
1700	1413	1486	1555	1621	1684	1745	1803	1858												
1800	1451	1527	1598	1667	1732	1794	1854	1912	1968											
1900	1488	1566	1640	1710	1778	1842	1904	1964	2021	2077										
2000	1523	1604	1680	1753	1822	1889	1952	2014	2073	2131	2186									
2100	1558	1640	1719	1793	1865	1933	1999	2063	2124	2183	2240	2296								
2200	1591	1676	1756	1833	1906	1977	2044	2110	2173	2233	2292	2350	2405							
2300	1623	1710	1793	1871	1947	2019	2088	2155	2220	2283	2343	2402	2459	2514						
2400	1655	1744	1828	1909	1986	2060	2131	2200	2266	2330	2393	2453	2511	2568	2624					
2500	1685	1776	1862	1945	2024	2100	2173	2243	2311	2377	2441	2502	2562	2621	2678	2733				
2600	1715	1808	1896	1980	2061	2139	2213	2285	2355	2422	2487	2551	2612	2672	2730	2787	2842			
2700	1744	1839	1929	2015	2097	2177	2253	2327	2398	2466	2533	2598	2661	2722	2782	2840	2896	2952		
2800	1772	1869	1961	2048	2133	2214	2292	2367	2439	2510	2578	2644	2708	2771	2832	2891	2949	3006	3061	
2900	1800	1898	1992	2081	2167	2250	2329	2406	2480	2552	2621	2689	2755	2819	2881	2941	3001	3058	3115	3170

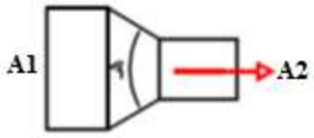
جدول 6-3 معامل الاحتكاك في تراكيب مجاري الهواء

جدول 6-3 أ تقلص مفاجئ



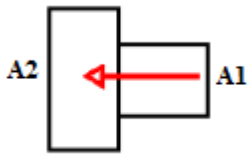
$\frac{A_2}{A_1}$	0.25	0.4	0.55	0.65
C	0.37	0.28	0.19	0.12

جدول 6-3 ب تقلص تدريجي



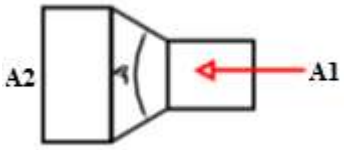
هـ	30°	45°	60°
C_1	0.02	0.04	0.07

جدول 6-3 ج توسع مفاجئ



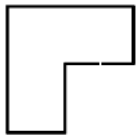
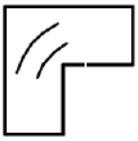
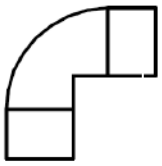
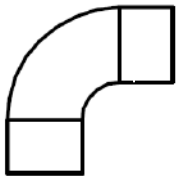
$\frac{A_1}{A_2}$	0.25	0.4	0.55	0.65
C	0.56	0.36	0.20	0.09

جدول 6-3 د توسع تدريجي

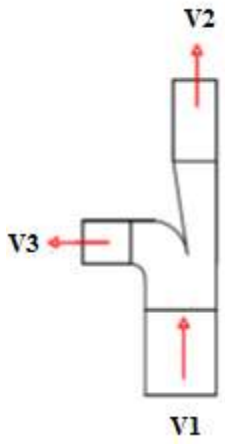


هـ	30°	45°	60°
C_2	0.6	0.8	1

جدول 6-3 هـ انحناء متعدد الإشكال

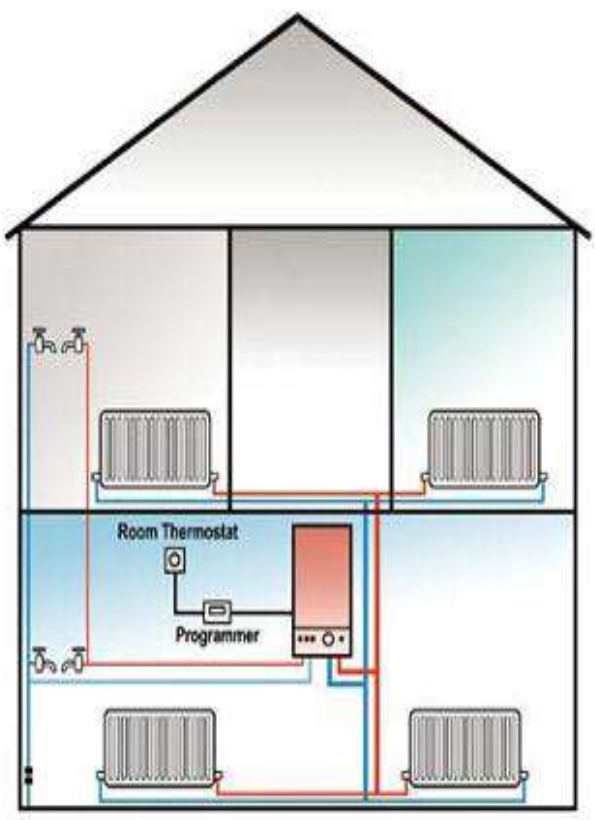
 هـ	 د	ج	 ب	 أ
C_1=1.25	0.72	0.35	1.22	0.67

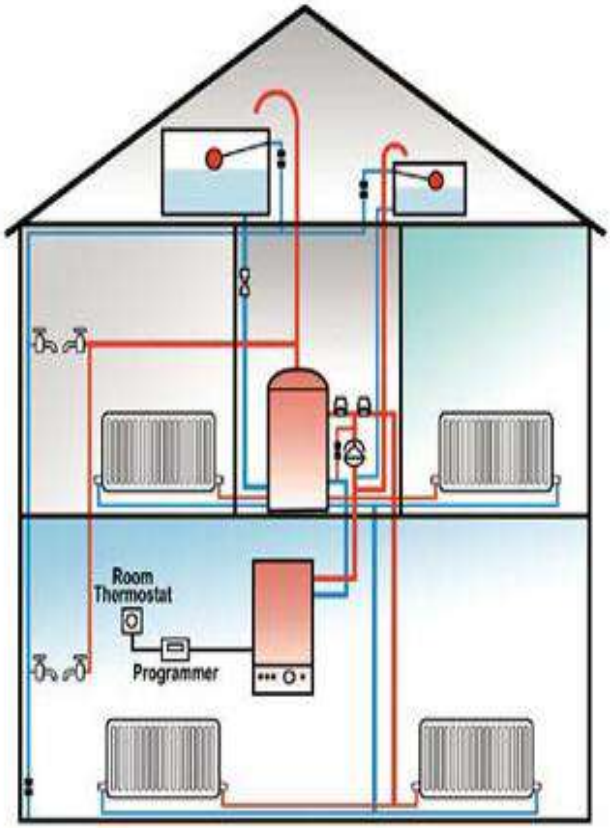
جدول 6-3 و تفرع

	$\frac{v_2}{v_1}$	C	$\frac{v_3}{v_1}$	$C_3 \times C$
	0.6	0.34	0.6	×3.5
	0.8	0.18	0.8	×1.8
	1.0	0.09	1.0	×1.0
	1.2	0.05	1.2	×1.0

الفصل السابع
أنظمة التدفئة بالماء الساخن

Hot Water Heating Systems





أنظمة التدفئة بالماء الساخن Hot Water Heating Systems

1-7 مقدمة Introduction

تُعد أنظمة التدفئة المركزية من وسائل التدفئة غير المباشرة، إذ يعتمد عملها على نقل الحرارة من وسيط نقل الحرارة، سواء أكان ماءً أم هواءً أم بخاراً إلى المبادلات الحرارية الموجودة في الفضاءات المراد تدفئتها. وعادة تصنف أنظمة التدفئة على ثلاثة أنواع كما يأتي: نظام التدفئة بالماء الساخن Hot Water Heating Systems، ونظام التدفئة بالهواء الساخن Hot Air Systems وأخيراً نظام التدفئة بالبخار Steam Heating Systems، والذي يعنينا في هذا الفصل هو نظام التدفئة بالماء الساخن.

2-7 تصنيف أنظمة التدفئة بالماء الساخن

تصنف أنظمة التدفئة بالماء الساخن على ثلاثة أنواع بحسب درجة حرارة الماء المجهز إلى المشعات، وعلى هذا الأساس تصنف هذه المنظومة على:

أ- أنظمة التدفئة ذات درجات الحرارة المنخفضة
Low Temperature Hot Water Heating Systems

تستعمل في الأبنية الصغيرة، وتكون درجة حرارة الماء المجهز إلى المشعات لغاية 120°C، في حين إن ضغط تجهيز الماء الساخن يكون بحدود 2 bar.

ب- أنظمة التدفئة ذات درجات الحرارة المتوسطة
Medium Temperature Hot Water Heating Systems

تستعمل في الأبنية ذات المساحات المتوسطة، وتكون درجة حرارة الماء المجهز إلى المشعات لغاية 160°C، في حين إن ضغط تجهيز الماء يساوي 10 bar.

ت- أنظمة التدفئة ذات درجات الحرارة العالية
High Temperature Hot Water Heating Systems

تستعمل في التدفئة المركزية للأبنية الكبيرة، المتكونة من عدة طوابق وتكون درجة حرارة الماء المجهز إلى المشعات لغاية 230°C، وتمتاز بضغط عالٍ للماء المجهز، ويساوي 20 bar.

3-7 محاسن التدفئة بالماء الساخن

يُعتمد أسلوب التدفئة بالماء الساخن في معظم دول العالم، ولا سيما ذات الأجواء الباردة، وذلك بسبب الامتيازات الكبيرة التي يحققها هذا النظام، ويتميز نظام التدفئة بالماء الساخن بالآتي:

1- تحقيق ظروف مميزة تحقق شروط راحة الإنسان: إن الخزين الكبير للماء الساخن في المراجل يمكن أن يعطي استقرارية عالية لنظام التدفئة يتيح الحفاظ على درجات حرارة ثابتة داخل الفضاء المكيف، فضلاً عن الطبيعة التي تتميز بها المشعات الحرارية التي تستعمل مع هذا النظام، إذ يمكن أن تحقق هذه المشعات درجات حرارة منتظمة داخل الفضاء المكيف، تعجز أنظمة التدفئة الأخرى عن تحقيقها، إذ إن النظام التقليدي في التدفئة يوفر درجات حرارة عالية قريبة من مصدر التدفئة، في حين أن الأماكن البعيدة تنخفض بها درجات الحرارة.

2- يوفر التدوير القسري للماء الساخن استجابة سريعة لتغير درجات الحرارة، إذ أن منظم درجات الحرارة يمكن أن يعطي إشارة سريعة للمضخات لغرض زيادة كمية الماء الساخن المار بالنظام عند انخفاض درجة حرارة الحيز المكيف.

3- انخفاض الكلفة الابتدائية لمنظومة التدفئة: إذ أن إنشاء شبكات أنابيب في البناية هو بالتأكيد أقل كلفة من إنشاء شبكة مجاري هواء إذا استعمل الهواء الساخن في التدفئة، وأقل كلفة إذا تم استعمال الوحدات الفرعية كمكيفات الهواء الجدارية.

4- انخفاض كلفة التشغيل: إذ أن عمل مراجل الماء والمضخات هو أقل كلفة من عمل دافعات الهواء والمسخنات الكهربائية، أو عمل الوحدات الفرعية الصغيرة.

5- يوفر نظام التدفئة بالماء الساخن خصوصية لكل غرفة، وهذا ما يؤدي إلى نجاحه في المستشفيات، لمنع انتشار الإمراض، وفي أماكن تداول المواد الكيميائية، لمنع انتشار بخار المواد الضارة بصحة الإنسان، وفي معامل صنع الأسلحة، لمنع انفجار بخار البارود عند تماسه مع المحركات الكهربائية.

4-7 مكونات نظام التدفئة بالماء الساخن

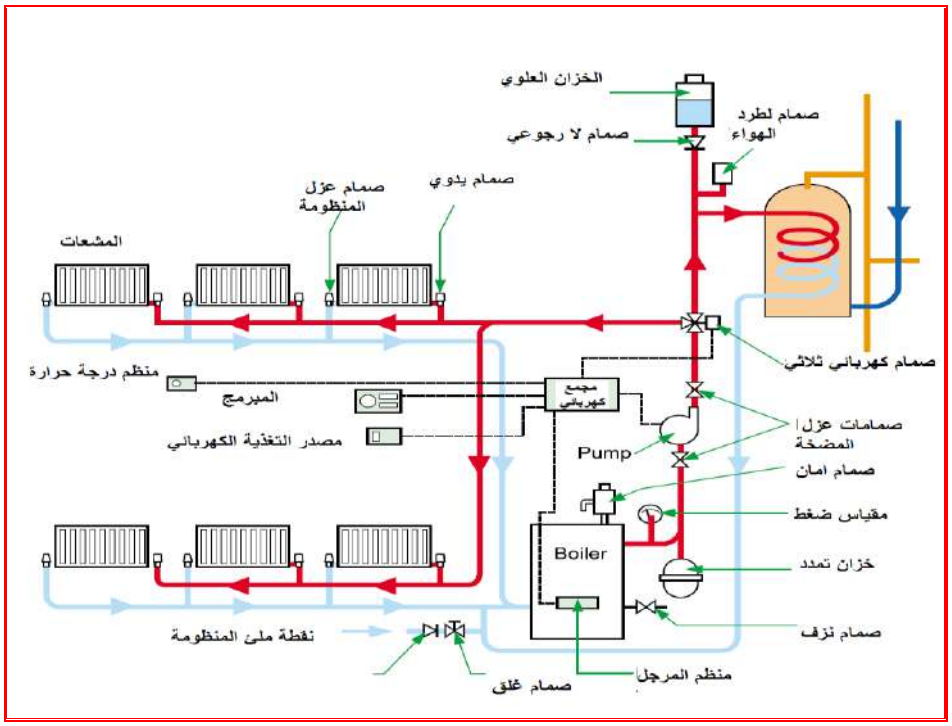
يتكون نظام التدفئة بالماء الساخن من عدد من الأجزاء الرئيسة وأخرى مساعدة، كما مبين في الشكل (7-1)، وتتكون الأجزاء الرئيسة من:

7-4-1 المراجل Boilers

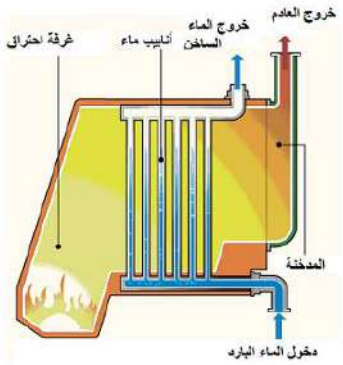
تستخدم المراجل لغرض تسخين الماء لأغراض التدفئة المركزية والاستعمالات المنزلية، وقد يستعمل للأغراض الصناعية إذا دعت الحاجة، ويعد المرجل من أهم مكونات نظام التدفئة المركزي، ويتم فيه تسخين الماء أما بواسطة الطاقة الكهربائية، وإما الوقود السائل، وإما الغازي، وتنتقل الحرارة المتولدة من أحد العناصر السابقة إلى وسيط نقل الحرارة، الذي يكون غالباً هو الماء، إذ يمر الماء في بعض أنواع المراجل التي تعتمد على حرق الوقود في أنابيب داخل المرجل في حين أن الغازات الناتجة من الاحتراق تمر حول الأنابيب، ويسمى مرجلاً ذا أنابيب ماء Water Tube Boiler، كما مبين في الشكل (7-2)، وفي أنواع أخرى يحدث العكس، ويسمى مرجلاً ذا أنابيب النار Fire Tube Boiler كما هو مبين في الشكل (7-3). وبعد ارتفاع درجة حرارة الماء يرسل إلى المشعات الفرعية عبر مضخات خاصة. وتزود المراجل بخزانات خاصة للوقود توضع خارج البناية، كما مبين في الشكل (7-4)، ويبين الشكل (7-5) الشكل العام للمرجل.

2-4-7 المشعات الحرارية Radiators

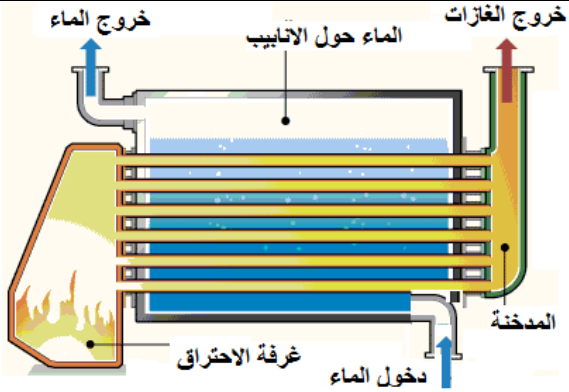
وهي الوحدات الفرعية التي تتسلم الماء الساخن من المرجل، وتوضع المشعات داخل الغرف، وتتم عملية انتقال الحرارة بين الماء الساخن والغرفة عن طرائق الحمل الحر، أي أن الهواء الملامس للمشعة يسخن مما يؤدي إلى انخفاض كثافته، فيصعد إلى الأعلى ليحل محله هواء بارد، وهكذا تتم عملية تدفئة الغرفة من دون الحاجة إلى مراوح لدفع الهواء، وتعتمد كمية الحرارة المنتقلة من المشعة إلى هواء الغرفة على نوع معدن المشعة، والمساحة السطحية للمشعة التي تعتمد بدورها على عدد خلايا المشعة ومساحة كل خلية. وتصنع المشعات بعدة أشكال وأحجام اعتماداً على الحمل الحراري المطلوب والتصميم المعماري، ويبين الشكل (7-6) بعض أنواع المشعات الحرارية.



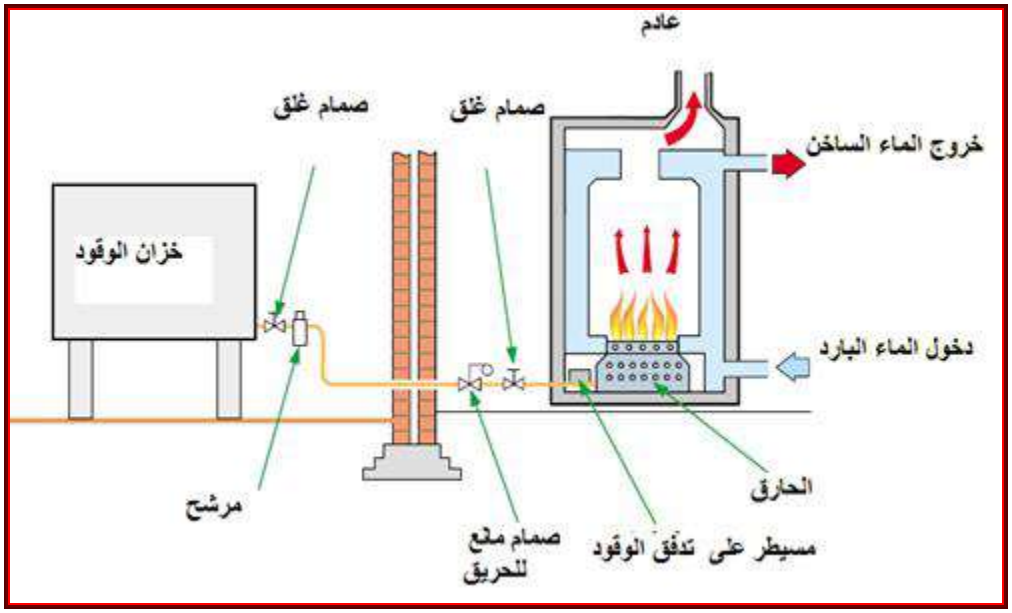
شكل 7-1 منظومة التدفئة بالماء الساخن



شكل 7-2 مرجل ذو أنابيب الماء



شكل 7-3 مرجل ذو أنابيب النار



شكل 7-4 وضع خزان الوقود في نظام التدفئة المركزي

شكل 7-5 مرجل لتسخين الماء

شكل 7-6 بعض أنواع المشعات

7-4-2-1 مكونات المشعات الحرارية

تتكون المشعات بصورة عامة من الآتي:

1- **الصمامات Valves**: يركب نوعان من الصمامات، أحدهما من النوع اليدوي على الخط المغذي للمشعة لغرض التحكم بمعدل تدفق الماء إلى المشعة والآخر يركب على الخط الراجع من المشعة، ويسمى بصمام تنظيم أو معايرة معدل تدفق الماء الساخن Regulation Valve. تتم معايرة معدل تدفق الماء الساخن عند التشغيل الأولي لشبكة التدفئة. يمكن السيطرة على هذا الصمام بواسطة منظم حراري Thermostat يوضع في الغرفة.
2- **مسربات الهواء Air Vents**: تركب عادة عند أعلى نقطة للمشعة، ووظيفتها طرد الهواء الموجود داخل المشعة، لأن وجود الهواء داخل المشعة يؤدي إلى منع دوران الماء في المشعة. ويتم تفريغ الماء يدوياً عن طريق أنبوب حديدي قطره عادة 8/1 إنج.
3- **السدادات Plugs**: وتستعمل لغلق مصدر التغذية ومصدر السحب للمشعة عند رفعها لأغراض الصيانة.
4- **وصلات التجميع Joining Nipples**: تستعمل وصلات التجميع لربط ألواح إضافية للمشعة وذلك كي يتناسب حجم المشعة مع الحمل الحراري للغرفة.
5- **مانعات التسرب Gaskets**: تستعمل موانع التسرب لمنع تسرب المياه من المشعات، وتكون خارجية يتم تركيبها قبل الصمامات وأخرى داخلية في مناطق جمع المشعات.

7-4-2-2 متطلبات تركيب المشعات

يجب إتباع الاعتبارات الآتية عند تركيب المشعات:

1- الحفاظ على مسافة 3 cm على الأقل بين المشعة والجدار المجاور للمشعة.
2- يجب الحفاظ على مسافة 8 cm كحد أدنى بين حافة المشعة وسطح الأرض.
3- في حال تركيب المشعة داخل الجدار يجب الحفاظ على مسافة 10 cm بين أعلى نقطة للمشعة وسقف الجدار.
4- ضرورة تركيب مسربات للهواء أعلى المشعة.
5- إضافة محاليل أو مواد كيميائية إلى الماء الساخن وذلك لحماية المشعة من التآكل.
6- إضافة جهاز لمعالجة الماء Water Softener للتخلص من أملاح الكالسيوم التي يؤدي تجمعها إلى انسداد أنابيب المشعة.
7- الحفاظ على درجة حموضة الماء PH ما بين (7 إلى 8).
8- ينصح بتركيب المشعات تحت النوافذ الخارجية، وذلك للسيطرة على الهواء المتسرب من النوافذ من جهة، ومن جهة أخرى يجب إن يكون الهواء الملامس للنوافذ عند أقل درجة حرارة، وهذا يؤدي إلى منع ظاهرة تكثف البخار على سطح زجاج النوافذ.
9- توفير فضاء مناسب حول المشعة لأغراض الصيانة والنصب.

5-7 مضخات الماء Water Pumps

تصنف المضخات بصورة عامة إلى:

1- المضخات الترددية Reciprocating Pumps
2- المضخات الدورانية Rotary Pumps
3- مضخات التروس المتقابلة Gear Pumps
4- مضخات التروس اللولبية Helical Pumps
5- مضخات الطرد المركزي Centrifugal Pumps

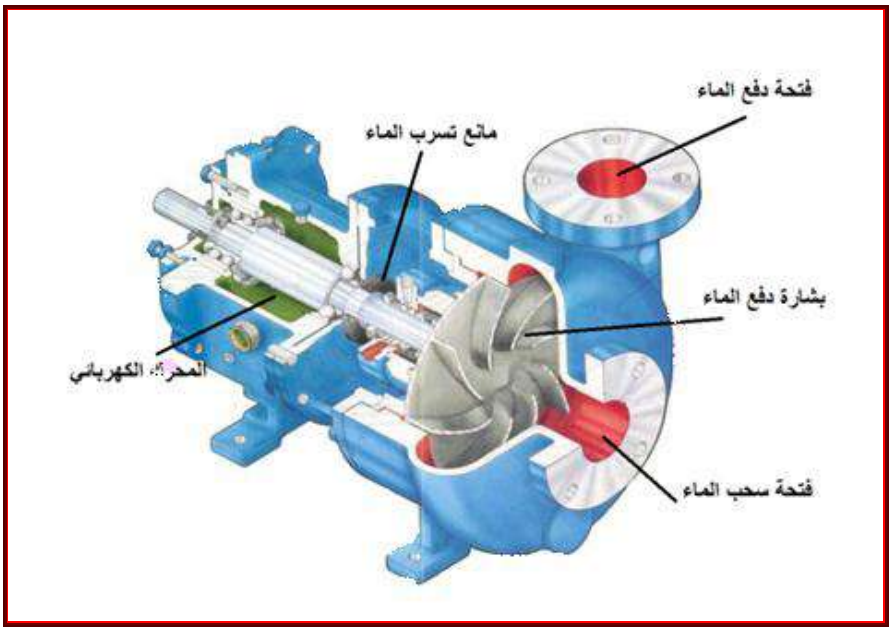
والذي يعنينا في هذه المرحلة من الدراسة هي مضخات الطرد المركزي، لأنها الأكثر استعمالاً في أنظمة التدفئة بالماء الساخن.

تتميز مضخات الطرد المركزي عن باقي أنواع المضخات المذكورة آنفاً بخلوها من الصمامات والمكابس والأذرع الرابطة، لذا تتميز بسهولة العمل والصيانة. وتتكون مضخات الطرد المركزي كما مبين في الشكل (7-7) من بشارة دفع الماء Impeller والتي تدور داخل غلاف البشارة بسرعة عالية، مما يؤدي إلى طرد الماء خارج الغلاف بسرعة عالية بفعل قوة الطرد المركزي، وبهذا تتحول السرعة العالية للبشارة إلى ضغط عالٍ مكتسب من الماء الخارج. ويمكن أن تربط المضخات على التوالي أو على التوازي، فإذا أريد زيادة كمية دفع الماء بثبوت ضغط الدفع ربطت المضخات على التوازي Parallel Pumps Connection، أما إذا أريد زيادة ضغط الماء بثبوت معدل التدفق فتربط المضخات على التوالي Series Pumps Connection، ويبين الشكل (7-8) طريقة ربط المضخات ببعضها.

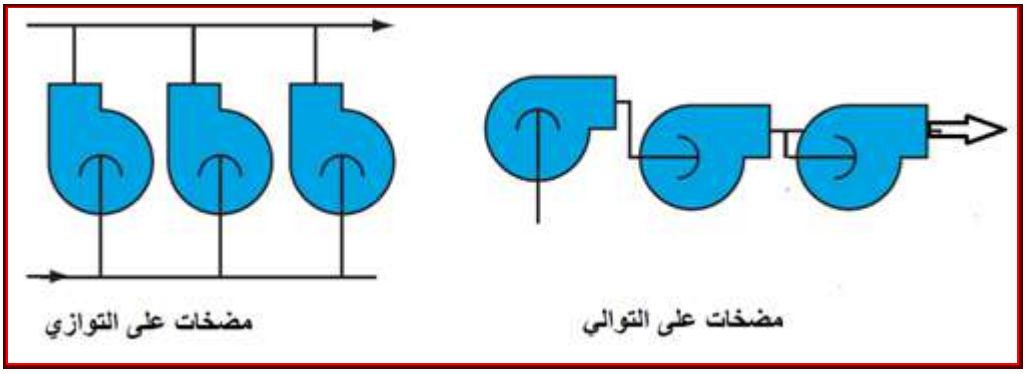
1-5-7 أنواع المضخات المستعملة في منظومات التدفئة بالماء الساخن

تستعمل عدة أنواع من مضخات الطرد المركزي في منظومات التدفئة بالماء الساخن، كما يأتي:

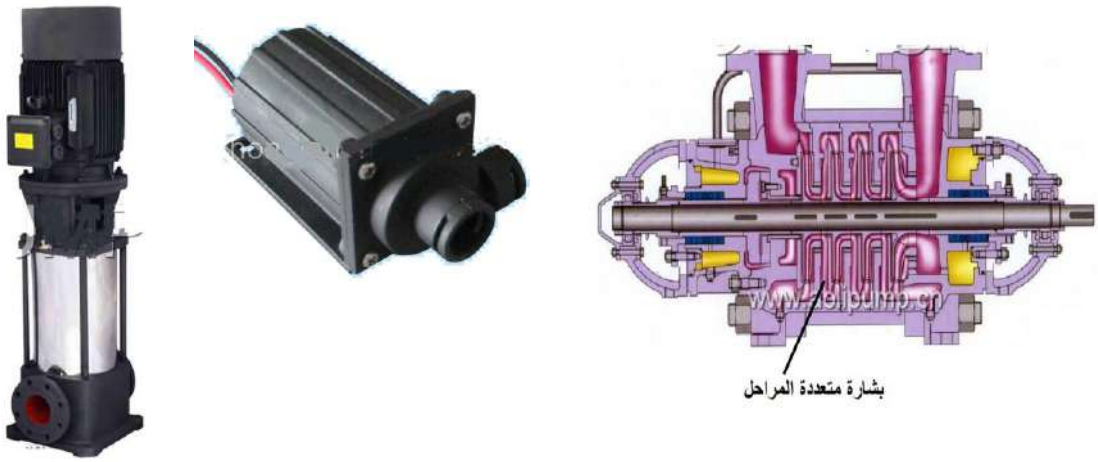
1- مضخة تزويد المرجل بالماء Boiler Feed Water Pump: وتكون ذات قدرة عالية للتغلب على ضغط المرجل، وتستعمل مضخات متعددة المراحل لهذا الغرض، أي أن بشارة دفع الماء تتكون من عدد من البشارات لغرض زيادة ضغط الماء في كل مرحلة، كما مبين في الشكل (7-9 أ).
2- مضخات التدفئة Circulation Pumps: تعمل مضخات التدفئة المركزية على تدوير المياه الساخنة في الوحدات الفرعية، والغرض منها هو التغلب على معامل الاحتكاك في الشبكة، وتصنع بشارة المضخة من النحاس للحفاظ عليها من التآكل، كما مبين في الشكل (7-9 ب).
3- مضخات النضح (غاطسات) Suction Pumps: وتستعمل لنزح الماء المتجمع في غرفة المراجل، كما مبين في الشكل (7-9 ت) .



شكل 7-7 مضخة الطرد المركزي



شكل 7-8 ربط المضخات مع بعضها



أ- مضخة تزويد المرجل بالماء ب- مضخات التدفئة ت- مضخات النضح

شكل 7-9 أنواع المضخات

6-7 أنواع شبكات الأنابيب في منظومات التدفئة بالماء الساخن

تصنف شبكات المياه بحسب ترتيب ربط الوحدات الفرعية بالوحدة الرئيسة (تسمى شبكة أنابيب المياه لطابق واحد بالوحدة الفرعية، في حين جمع شبكات جميع طوابق البناية تسمى بالوحدة الرئيسة)، كما يأتي:

1-6-7 شبكات مياه المنظومات الصغيرة أو المنظومات الفرعية

يطلق على الوحدات الفرعية، كما سبق ذكره، على شبكة مياه طابق واحد ضمن بناية تتكون من عدة طوابق، وتحتوي الوحدة الفرعية على عدد من المشعات تتناسب مع عدد الغرف في الطابق الواحد، وعلى هذا الأساس تصنف شبكات الوحدات الفرعية إلى:

1- **شبكة أنابيب ذات دورة على التوالي Series Piping Water System**
2- **شبكة مياه ذات أنبوب واحد Single Piping Water System**
3- **شبكة مياه ذات أنبوبين مع إرجاع عكسي للماء**
Reversed Return of Water -Two Piping Water System
4- **شبكة مياه ذات أنبوبين مع إرجاع مباشر للماء**
Direct Return of Water -Two Piping Water System

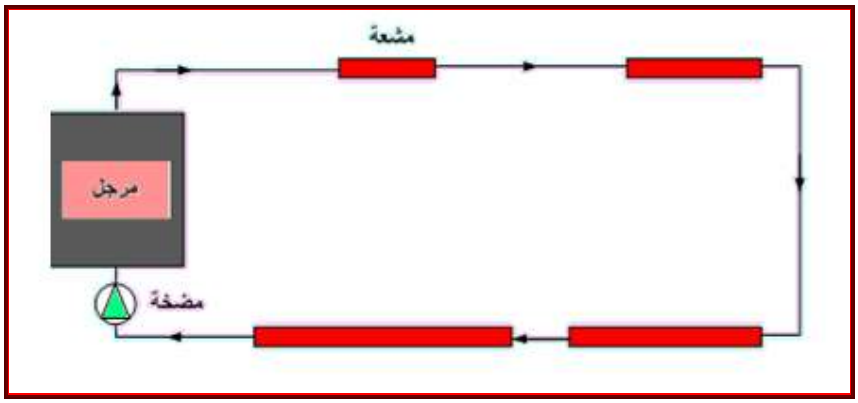
2-6-7 شبكات المياه للتدفئة المركزية

يقوم أنبوب رئيس بنقل الماء إلى الوحدات الفرعية، ويربط الأنبوب الرئيس بالوحدات الفرعية بأحدى الطرائق الآتية:

1- **شبكة أنابيب ذات دورة على التوالي Series Piping Water System**
2- **شبكة مياه ذات أنبوب واحد Single Piping Water System**
3- **شبكة مياه ذات أنبوبين مع إرجاع عكسي للماء**
Reversed Return of Water -Two Piping Water System
4- **شبكة مياه ذات أنبوبين مع إرجاع مباشر للماء**
Direct Return of Water -Two Piping Water System
5- **شبكة مياه ذات ثلاثة أنابيب Three Piping Water System**
6- **شبكة مياه ذات أربعة أنابيب Four Piping System**

- **شبكة أنابيب ذات دورة على التوالي Series Piping Water System**

تستعمل لتوزيع المياه في الوحدات الفرعية أو المنظومات الصغيرة، ويتم فيها ضخ الماء إلى المشع الأول وحال خروجه من المشع الأول يدخل المشع الثاني وهكذا، وتتميز بقلة كلفتها الابتدائية ومن عيوبها: 1- **انخفاض درجة حرارة الماء عند الابتعاد عن مصدر التجهيز، 2- زيادة حجم المشعة كلما ابتعدنا عن مصدر التجهيز لتعويض الانخفاض في درجة حرارة الماء، 3- تتوقف جميع الوحدات العاملة في حال عطل أي وحدة من الوحدات**، ويبين الشكل (7-10) شبكة أنابيب ذات دورة على التوالي.



شكل 7-10 شبكة أنابيب ذات دورة على التوالي

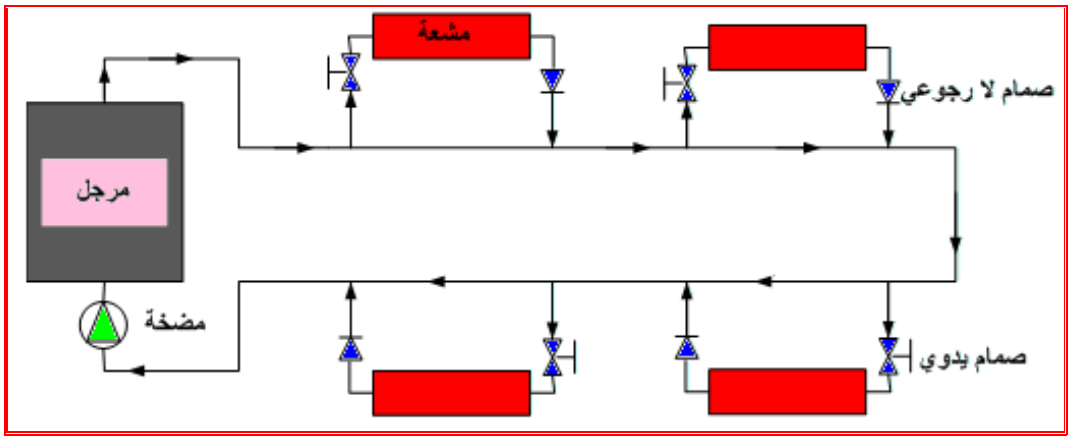
➢ شبكة مياه ذات أنبوب واحد Single Piping Water System

يستعمل أنبوب واحد لنقل الماء المجهز والراجع من المشعة، تتم السيطرة على كمية الماء المجهزة لكل وحدة عن طريق صمام تحكم يدوي، ويجب وضع صمام غير مرجع (Check Valve) عند مخرج المشعة لمنع دخول ماء التجهيز لها، تمتاز هذه الشبكة بأنها ذات كلفة ابتدائية قليلة، ومن عيوبها: 1- **تحتاج إلى إجراء معايرة دقيقة لكمية الماء المجهز لكل وحدة،** 2- **انخفاض درجة حرارة الماء عند الابتعاد عن مصدر التجهيز**، ويبين الشكل (7-11) شبكة مياه ذات أنبوب واحد.

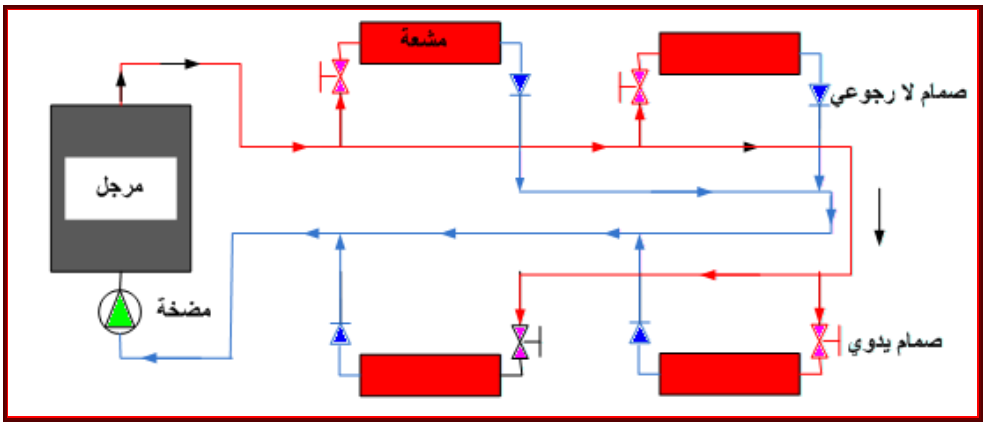
➢ شبكة مياه ذات أنبوبين مع إرجاع عكسي للماء

Reversed Return of Water -Two Piping Water System

يستعمل أنبوب مستقل لنقل الماء الساخن إلى الوحدات، وأنبوب آخر لإعادة الماء الراجع إلى المرجل، وذلك لتلافي حدوث اختلاط بين الماء المجهز والماء الراجع، وبهذا تتسلم جميع الوحدات ماءً ساخناً عند درجة حرارة ثابتة تقريباً، ويصمم ترجيع الماء بصورة معاكسة لضمان مسار متساوٍ لجميع الماء المجهز والخارج من المشعة، وبهذا تقل الحاجة إلى إجراء معايرة للمشعات العاملة، ويبين الشكل (7-12) شبكة مياه ذات أنبوبين مع إرجاع عكسي للماء.



شكل 7-11 شبكة مياه ذات أنبوب واحد

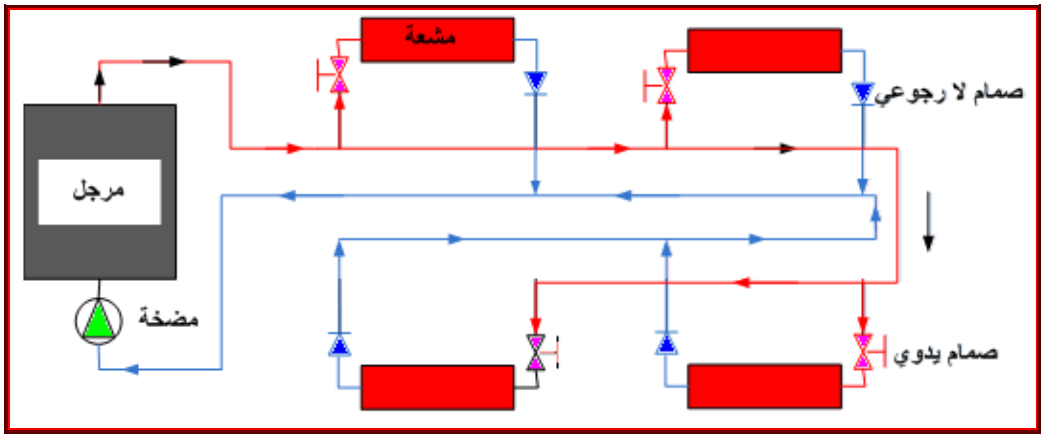


شكل 7-12 شبكة مياه ذات أنبوبين مع إرجاع عكسي للماء

➢ شبكة مياه ذات أنبوبين مع إرجاع مباشر للماء

Direct Return of Water -Two Piping Water System

تشابه النوع السابق من حيث عدد الأنابيب إلا إنها تختلف عنه بأن الماء يرجع مباشرة إلى المرجل بعد خروجه من المشعة، لذلك سوف تكون المشعة البعيدة عن مصدر التجهيز ذات خسائر احتكاك أكبر من المشعات الأخرى، لذا تحتاج المنظومة إلى إجراء معايرة، ويبين الشكل (7-13) شبكة مياه ذات أنبوبين مع إرجاع مباشر للماء.



شكل 7-13 شبكة مياه ذات أنبوبين مع إرجاع مباشر للماء

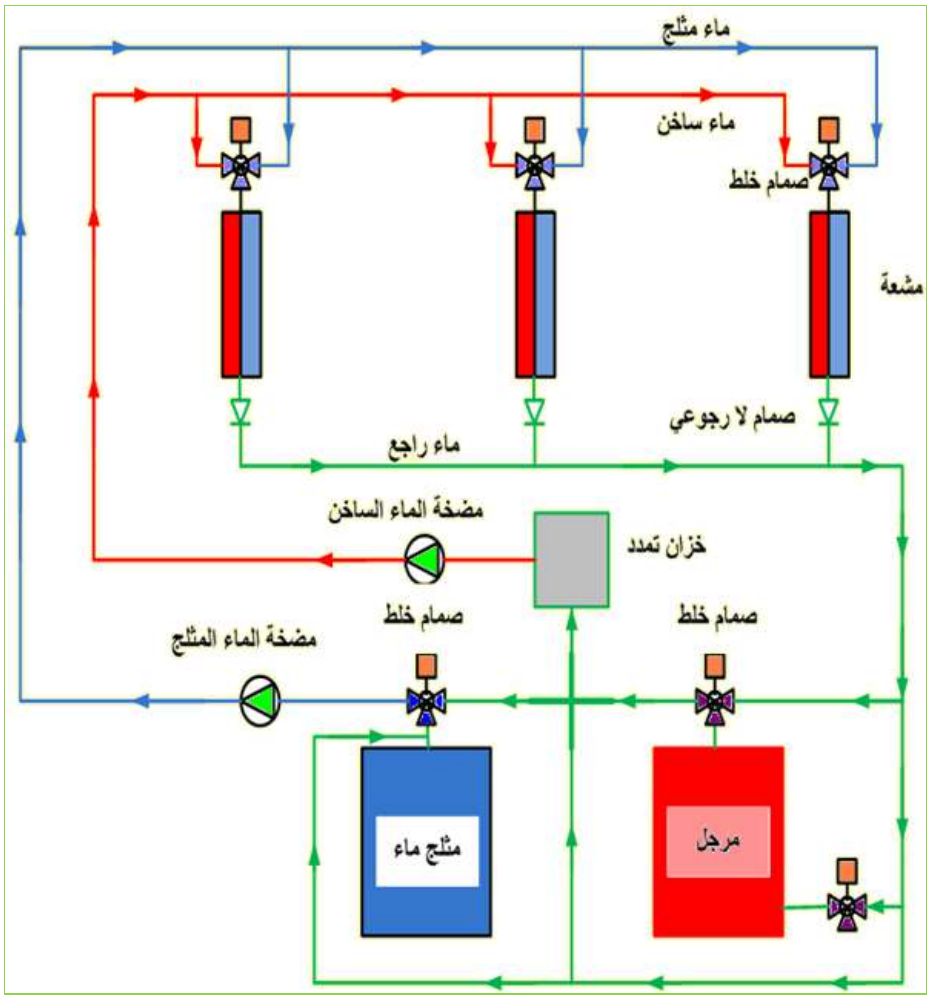
➢ شبكة مياه ذات ثلاثة أنابيب Three Piping Water System

تعمل هذه المنظومة لأغراض التدفئة والتبريد، وتتكون من ثلاثة أنابيب، الأول يستعمل لنقل الماء الحار إلى المشعات، والثاني يختص بنقل الماء المثلج إلى المشعات، في حين إن الأنبوب الثالث يعمل على إعادة الماء الساخن بعد اختلاطه بالماء المثلج، إذ يقوم متحسس بدرجة الحرارة بتوجيه الماء الراجع إما إلى المثلج وإما إلى المرجل. وتحتوي المنظومة على مضخة لدفع الماء المثلج وأخرى لدفع الماء الساخن، تعمل هذه المنظومة على مدار السنة، وتقوم المنظمات الحرارية بتشغيل أو إطفاء كل من المرجل أو مثلج الماء، أو تشغيلهما معاً أو إطفائهما معا بحسب فصول السنة، حيث يقوم المنظم بإطفاء المرجل صيفاً وتشغيل مثلج الماء،

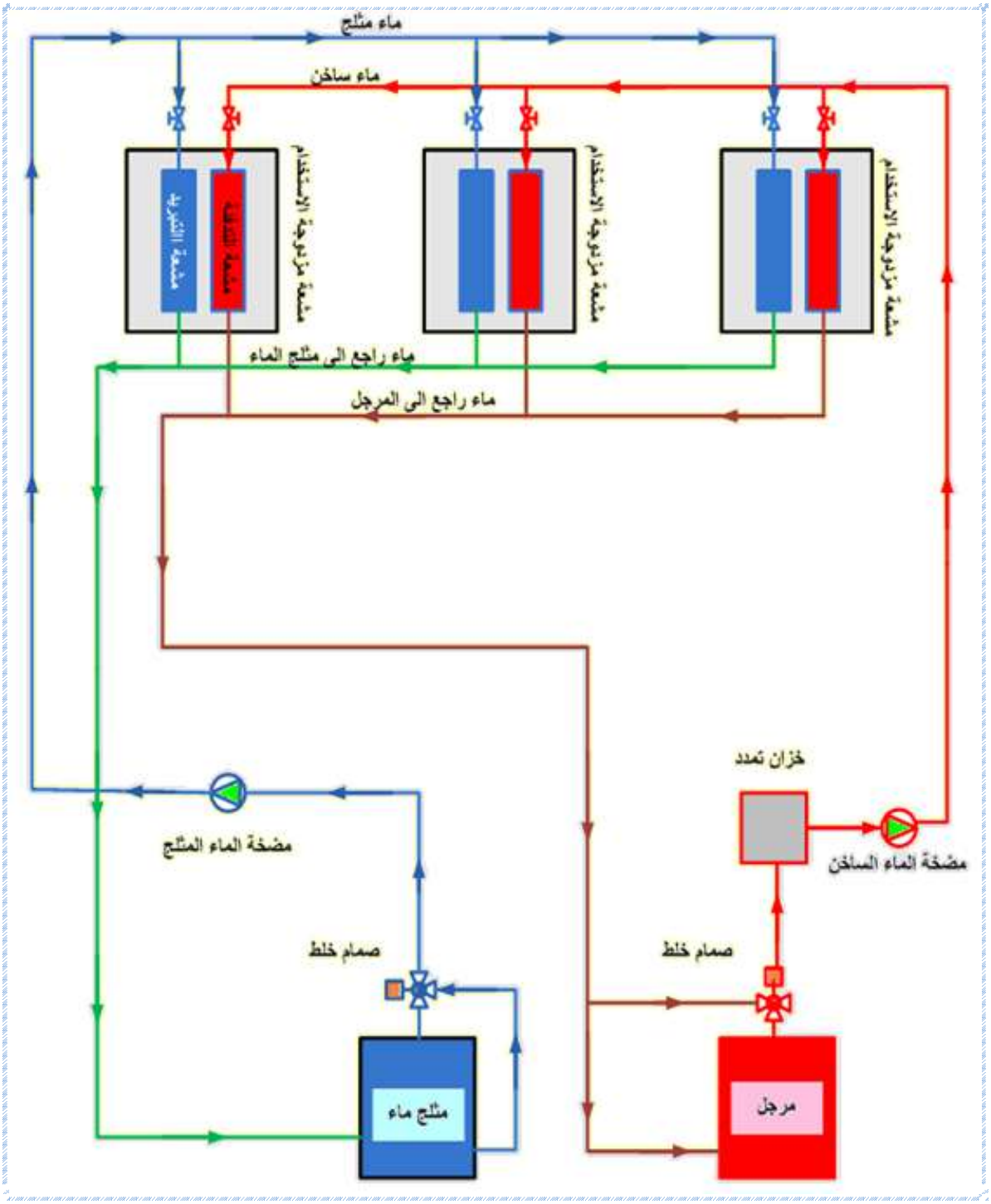
والعكس صحيح في فصل الشتاء، إما في الفصول الانتقالية فيعمل كل من المرجل ومثلج الماء لتوفير درجة حرارة مناسبة للمشعة عن طريق خلط الماء المثلج بالماء الساخن قبل الدخول إلى المشعة بواسطة صمام الخلط. وتتميز بكلفة ابتدائية عالية وكلفة تشغيل عالية أيضاً. ويبين الشكل (7-14) شبكة مياه ذات ثلاثة أنابيب.

➢ شبكة مياه ذات أربعة أنابيب Four Piping System

تتميز هذه المنظومة باحتوائها على مشعات من نوع خاص، إذ تحتوي كل مشعة على ملفين منفصلين، أحدهما للماء الساخن، والآخر للماء المثلج، وتحتوي المنظومة على أربعة أنابيب، الأول لنقل الماء المثلج إلى الملف الخاص بالماء المثلج في المشعة، والآخر لإعادة الماء المثلج إلى مثلج الماء، والأنبوب الثالث لنقل الماء الساخن إلى ملف الماء الساخن في المشعة، والرابع لإعادة الماء الساخن إلى المرجل، أي لا يمكن إن يحدث خلط بين الماء المثلج والماء الساخن كما في المنظومة السابقة، ويمكن أن يشترك الملفان في توفير درجة حرارة مناسبة للغرفة، ولا سيما في الفصول الانتقالية، وتتميز باستجابة سريعة لتغير درجات الحرارة، وتُعد مكلفة من ناحية الكلفة الابتدائية وكلفة التشغيل وكلفة الصيانة. ويبين الشكل (7-15) شبكة مياه ذات أربعة أنابيب.



شكل 7-14 شبكة مياه ذات ثلاث أنابيب



شكل 7-15 شبكة مياه ذات أربعة أنابيب

أسئلة الفصل السابع

س1: إملأ الفراغات الآتية بما يناسبها:

- تصنف أنظمة التدفئة بالماء الساخن على .....و.....و.....
- من عيوب نظام التسخين ذي دورة على التوالي هي 1..... 2- ..... 3- .....
- من عيوب شبكة الأنابيب ذات الأنبوب الواحد هي:1-..... 2- .....
- يصمم إرجاع الماء بصورة عكسية في نظام الشبكات ذات الأنبوبين لضمان مسار ..... لجميع الماء المجهز والخارج من المشعة، وبهذا تقل الحاجة إلى إجراء ..... للمشعات العاملة.
- تحتاج منظومة تسخين الماء ذات الأنبوبين مع إرجاع مباشر للماء إلى إجراء ..... للوحدات العاملة وذلك بسبب .....
- تتكون شبكة المياه ذات الثلاثة أنابيب من ثلاثة أنابيب، إذ يقوم الأنبوب الأول بنقل الماء ..... إلى المشعات، والثاني يختص بنقل الماء ..... إلى المشعات، في حين إن الأنبوب الثالث يعمل على إعادة الماء ..... بعد اختلاطه بالماء .....
- تتميز المنظومة ذات الأربعة أنابيب باحتوائها على مشعات من نوع خاص حيث تحتوي كل مشعة على.....الأول للماء..... والأخر للماء.....
- تحتوي المنظومة ذات الأربعة أنابيب، على أربعة أنابيب الأول لنقل الماء ..... إلى الملف الخاص بالماء ..... والآخر لإعادة الماء ..... إلى مثلج الماء، والأنبوب الثالث لنقل الماء ..... إلى ملف الماء .....، والرابع لإعادة الماء ..... إلى المرجل.
- تركب مسربات الهواء عادة عند ..... نقطة للمشعة، ووظيفتها..... الموجود داخل المشعة، لأن وجوده داخل المشعة يؤدي إلى ..... في المشعة.

س2: ما محاسن التدفئة بالماء الساخن؟

س3: ما مكونات منظومات التدفئة بالماء الساخن؟

س4: ما اعتبارات تركيب المشعات الحرارية؟

س5: ما تصنيف مضخات الماء؟ وما النوع الأكثر استعمالاً في منظومات التدفئة بالماء الساخن؟

س6: ما أنواع مضخات الطرد المركزي المستعملة في منظومات التدفئة بالماء الساخن؟

س7: ما تصنيف شبكات المياه حسب ترتيب ربط الوحدات الفرعية بالوحدة الرئيسة؟

س8: ما الفائدة من جعل الماء يرجع بصورة عكسية في شبكات المياه ذات الأنبوبين.

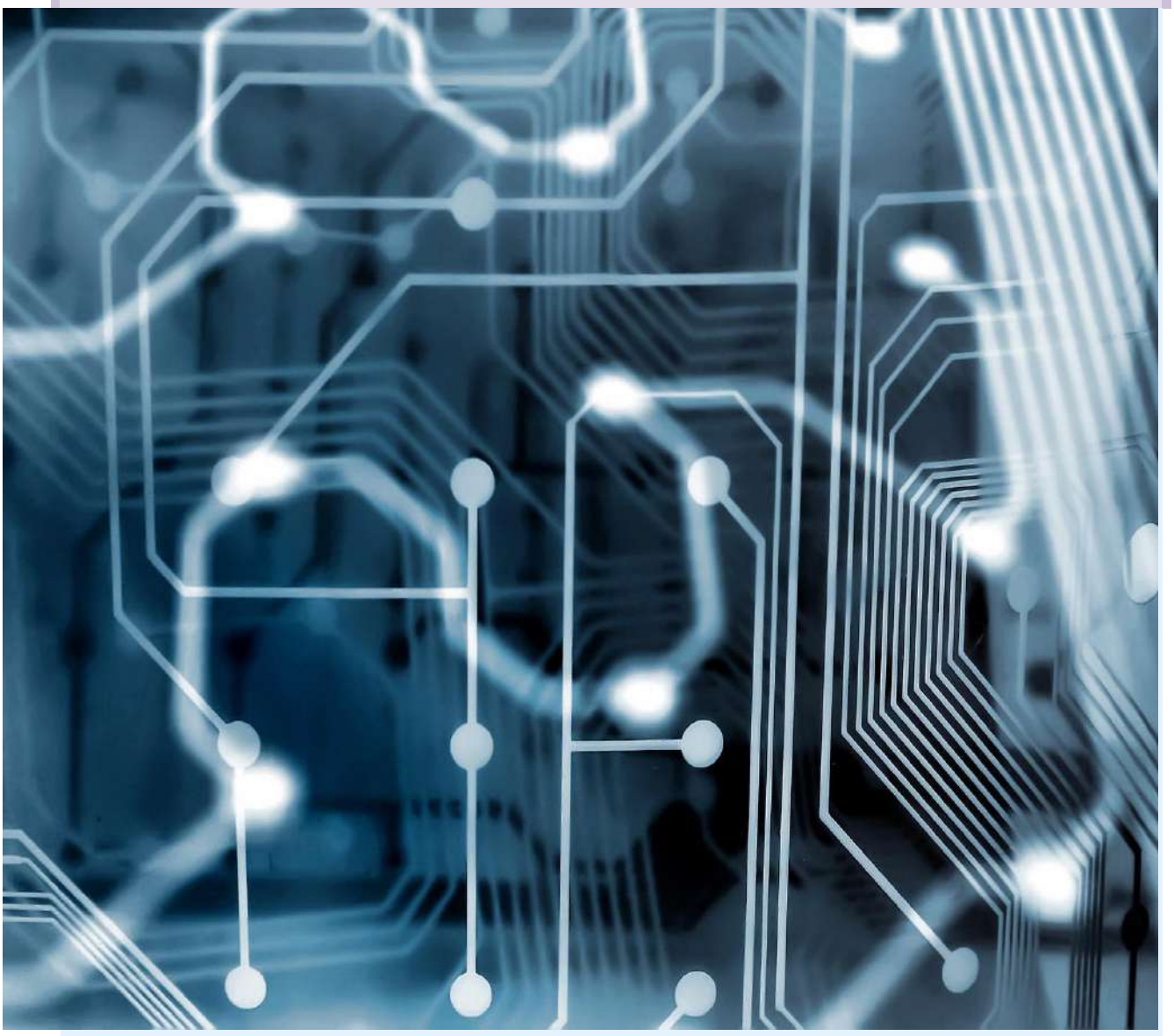
س9: ارسم شبكة المياه ذات الثلاثة أنابيب وبين مجالات استعمالها.

س10: عدد أنواع المراجل، وارسم أحد هذه الأنواع.

الفصل الثامن

أساسيات إلكترونية

Electronic Principals



أساسيات إلكترونية Electronic Principals

1-8 مقدمة Introduction

تستعمل عدد من دوائر التحكم في أنظمة تكييف الهواء عناصر الحالة الجامدة Solid-State Elements فضلاً عن الأجهزة الميكانيكية والمغناطيسية، لهذا يتطلب الأمر الاطلاع على مكونات هذه العناصر لغرض فهمها ومن ثم التعامل معها. وتصنع عناصر الحالة الجامدة مثل الدايودات والترانزستورات من عناصر يطلق عليها أشباه الموصلات، ومن هنا يمكن تصنيف المواد كموصلات، وعوازل وأشباه موصلات.

2-8 الموصلات والعوازل وأشباه الموصلات

تصنف المواد كما تم ذكره في أعلاه إلى ما يأتي:

1-2-8 الموصلات Conductor: وهي المواد التي تسمح بمرور التيار الكهربائي من خلالها، مثل المعادن بصورة عامة، ويرجع السبب إلى تركيبها الذري الذي يحتوي على عدد كبير من الإلكترونات الحرة القابلة للحركة تحت تأثير فرق الجهد الكهربائي للتيار سواء أكان التيار مستمراً أم متناوباً.

2-2-8 العوازل Insulators: هي المواد التي لاتسمح بمرور التيار الكهربائي عبرها، مثل الخشب والمطاط والبلاستك، وذلك لاحتوائها على عدد قليل من الإلكترونات الحرة القابلة للحركة تحت تأثير فرق الجهد.

3-2-8 أشباه الموصلات Semiconductors: هي مواد وسط بين العوازل والموصلات، إذ تعمل أشباه الموصلات عمل العازل في حالة كون المادة نقية وكذلك عند الصفر المطلق (**الصفر المطلق يساوي -273.15°C**) ، ويمكن التحكم بمقدار موصليتها عن طريق إضافة بعض الشوائب (التطعيم) وتتناول عملية التطعيم في المواد شبه الموصلة النقية إلى زيادة موصليتها الكهربائية وإنتاج شبه الموصل السالب (Type -N) وشبه الموصل الموجب (Type -P). وتستعمل أشباه الموصلات في صناعة جميع العناصر الرئيسة في دائرة التحكم والسيطرة، مثل الثنائيات (الدايودات) والترانزستورات، ومن أهم المواد شبه الموصلة السليكون، ومن ثم الجرمانيوم.

3-8 الثنائي (الدايود) Diode

يتركب الدايود من ثنائي أشباه الموصلات N-P تشكل على شريحة واحدة، إذ يسمى الطرف المتصل بشبه الموصل P بالأنود، ويرمز له بالحرف A، في حين يسمى الطرف المتصل بشبه الموصل N بالكاثود ويرمز له بالحرف K، أما في الدايودات الصغيرة فيمثل الكاثود بحلقة بيضاء، أما في الدايودات الزجاجية فيشار إلى الدايود بحلقة سوداء. ومن المعروف أن الدايود يسمح بمرور التيار باتجاه معين ويمنع مروره بالاتجاه الآخر. ويبين الشكل (8-1) بعض أنواع الدايودات ومدى صغر حجمها في التطبيقات الحديثة.

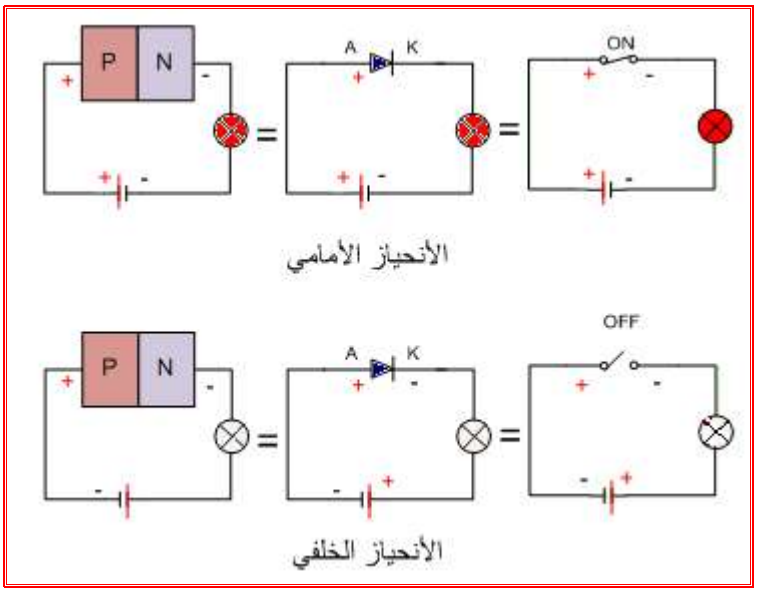
شكل 8-1 بعض أنواع الثنائيات (الدايودات)

8-3-1 عمل الثنائي (الدايود)

يعمل الدايود على توصيل التيار عند تشغيله على الانحياز الأمامي في حين لايسمح بمرور التيار عند تشغيله على الانحياز العكسي، كما يأتي:

أ- **الانحياز الأمامي Forward Bias**: في حالة الانحياز الأمامي يوصل الأنود الموجب الشحنة (P) بالقطب الموجب للمصدر، في حين يوصل الكاثود السالب الشحنة (N) بالقطب السالب للمصدر، وفي هذه الحالة يتصرف الدايود كمفتاح كهربائي في حالة التوصيل ON ويعمل على تمرير التيار الكهربائي، كما مبين في الشكل (8-2).

ب- **الانحياز الخلفي Backward Bias**: في حالة الانحياز الخلفي يوصل الأنود (الموجب) بالقطب السالب للمصدر في حين أن الكاثود (السالب) يوصل بالقطب الموجب للمصدر. وفي هذه الحالة تكون المقاومة بين طرفي الدايود مرتفعة جداً، ويتصرف الدايود كمفتاح كهربائي في حالة القطع OFF، كما مبين في الشكل (8-2).

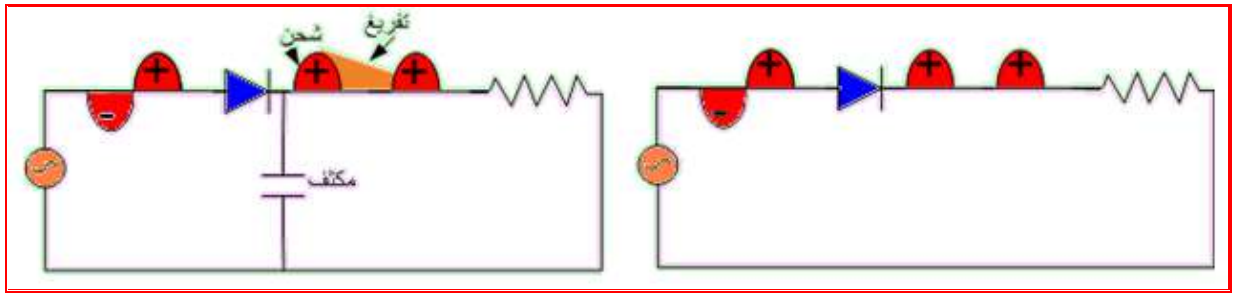


شكل 8-2 الدايود في وضعي الانحياز الأمامي والانحياز الخلفي

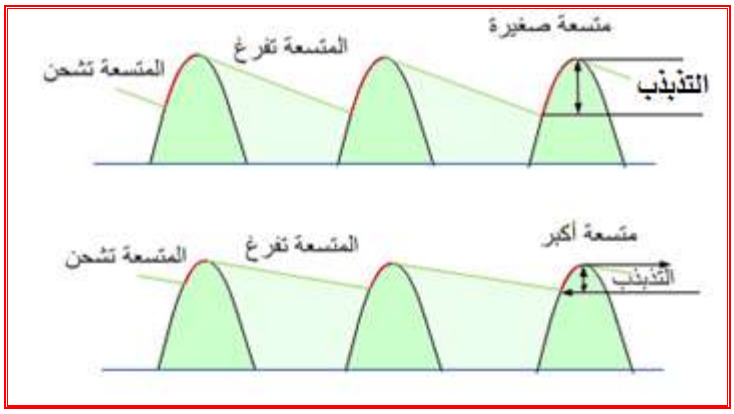
2-3-8 استعمالات الثنائي (الدايود)

أ- تقويم نصف موجي للتيار باستخدام دايود واحد

يسمح الدايود للنصف الموجب للتيار المتردد بالمرور، في حين أنه يمنع النصف السالب من الموجة بالمرور، وبالتالي يكون التيار المار بعد الدايود تياراً مستمراً ولكنه متغير الشدة، فعند الحاجة إلى تقليل تناوب التيار بعد الدايود يتم ربط مكثف مناسب السعة يعمل على تخزين الطاقة في طور الشحن ويردها إلى الدائرة في طور التفريغ، وبذلك يمكن تعديل موجة التيار، كما مبين في الشكل (8-3)، ويمكن تحسين التيار بعد الدايود بزيادة سعة المتسعة، إذ تؤدي زيادة سعة المتسعة إلى تقليل التموج، كما مبين في الشكل (8-4) لغرض الوصول إلى التيار المستمر قدر الإمكان.



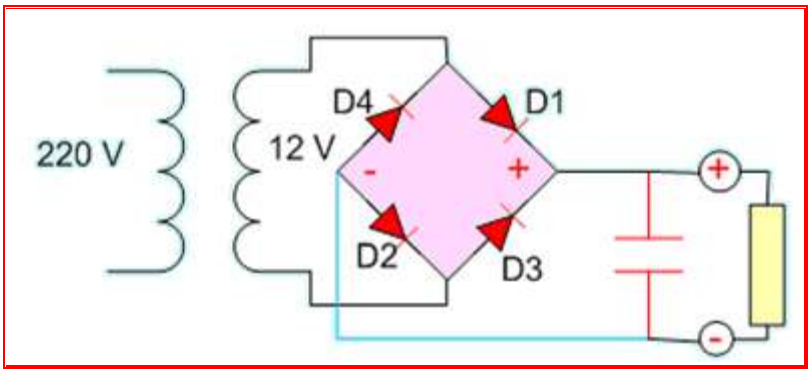
شكل 8-3 تقويم نصف موجي للتيار المتردد باستعمال دايود واحد



شكل 8-4 زيادة سعة المتسعة تؤدي إلى تقليل التموج

ب- تقويم موجي كامل للتيار المتناوب باستعمال أربعة دايودات (دائرة القنطرة):

تستعمل أربعة دايودات لعمل تقويم تيار كامل للتيار المتردد فيتحول إلى تيار مستمر اقل تردداً من استعمال دايود واحد، ويبين الشكل (8-5) دائرة القنطرة، ويمكن تمييز نصفي دورة في أثناء عمل القنطرة كما يأتي: ففي إثناء النصف موجب الموجة الدخل يكون الدايود D_1 و D_2 في حالة انحياز أمامي ويمر التيار عبر الدايود D_1 ومقاومة الحمل R_1 ثم الدايود D_2 ، أما في النصف السالب من موجة الدخل يكون الدايود D_3 والدايود D_4 في حالة انحياز أمامي، فيمر التيار عبر الدايود D_3 ومقاومة الحمل R_1 ثم الدايود D_4، وهكذا يحصل الحمل R_1 على سلسلة من الموجات المقومة ترددها (100 Hz)، أي ضعف تردد موجة الدخل الجيبية التي تساوي (50 Hz)، ويوصل على مخرج مقوم القنطرة متسعة كيمائية ذات سعة عالية أكبر من 100 kF لغرض تنظيم الجهد المتناوب، كما مبين في الشكل (8-5).



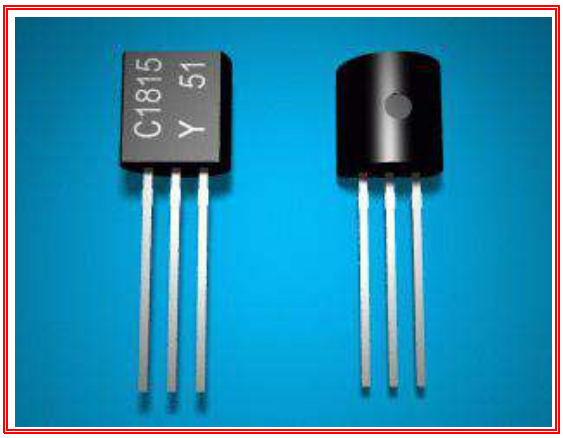
شكل 8-5 ربط متسعة على دائرة القنطرة

4-8 أشباه الموصلات ثنائية القطبية (الترانزستورات) Transistors

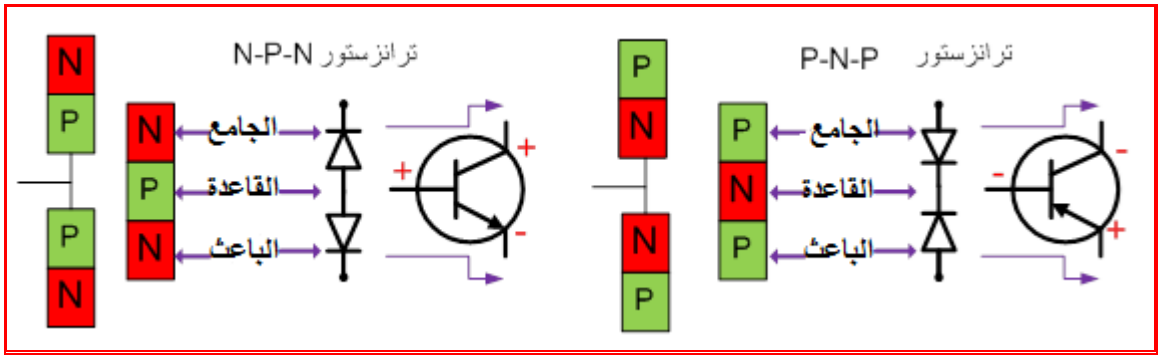
في عام 1948 تمكن فريق من علماء الفيزياء الأمريكيين من اختراع عنصر إلكتروني جديد من المواد شبه الموصلة أطلقوا عليه اسم الترانزستور Transistor، وهو اختصار لكلمتي Transfer وكلمة Resistor أي تحويل المقاومة، وقد أصبح الترانزستور بديلاً عن الصمامات المفرغة. وساعد صغر حجمه وقلة تكاليفه وسهولة تصنيعه واستهلاكه القليل للطاقة على حدوث طفرة في عالم الإلكترونيات. إذ يستعمل الترانزستور كمكبر إشارة وكمفتاح إلكتروني. ويبين الشكل (8-6) بعض أنواع الترانزستورات.

1-4-8 تركيب الترانزستور

تصنع الترانزستورات عن طريق تجميع ثلاث قطع من المواد شبه الموصلة الموجبة والسالبة، وهنالك نوعان من الترانزستورات أحدهما P-N-P والآخر N-P-N، وبصورة عامة يتكون الترانزستور من وصلتي N-P متصلتين على التوالي، بحيث تشتركان في المنطقة الوسطى، وبذلك يتكون الترانزستور من ثلاث طبقات أما P-N-P وإما N-P-N، كما مبين في الشكل (8-7)، وتسمى المنطقة الوسطى بالقاعدة Base أما المنطقتان الطرفيتان فتسمى أحداهما بالباعث Emitter، والأخرى بالجامع Collector، حيث يتكون الترانزستور N -P-N من طبقة من نوع P القاعدة، توسطها طبقتان من نوع N (الباعث والجامع). وبذلك تتكون وصلتان N-P هما،1- وصلة القاعدة – الباعث 2- وصلة القاعدة-الجامع، وتعتمد طبيعة عمل الترانزستورات على حركة الإلكترونات والفجوات معاً، ويتميز الباعث برأس سهم يشير إلى جهة صنع المادة من النوع N، مما يساعد على التمييز بين الرمز التخطيطي للترانزستور N-P-N والترانزستور P-N-P. ويكون تركيز الشوائب في شريحة الباعث أعلى بكثير من شريحة الجامع. وتجدر الإشارة إلى أن حاملات الشحنة في الترانزستور N -P-N هي الإلكترونات الحرة، وفي الترانزستور P-N-P هي الفجوات.



شكل 8-6 بعض أنواع الترانزستورات



شكل 8-7 تركيب الترانزستور

8-4-2 مبدأ عمل الترانزستور

يعمل الترانزستور كصمام يسري التيار من الجامع إلى الباعث عن طريق التحكم بتيار القاعدة، وتعود أهمية الترانزستور إلى إمكانية تمرير تيار عالٍ في الجامع عن طريق تمرير تيار منخفض في القاعدة. ويمتاز بكونه صغير الحجم، ورخيص الثمن وذو كفاءة.

8-4-3 استعمالات الترانزستور

أ- استعمال الترانزستور كمكبر Transistor as An Amplifier

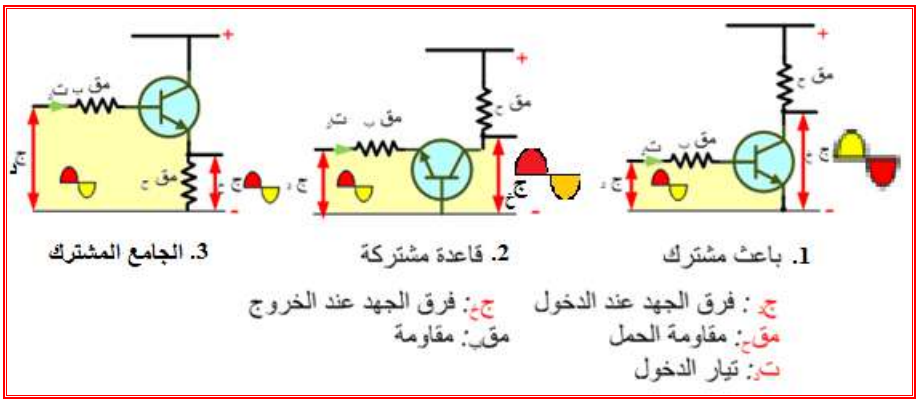
للترانزستورات ثلاث دوائر أساسية تعتمد على طرائق الترانزستور المشترك بين مدخل الدائرة ومخرجها، وتعطي كل دائرة بعض المميزات، ولكنها لاتخلو من المساوئ، ويتم اختيار الدائرة بحسب التطبيق، وكما في الشكل (8-8). ويمكن تلخيص مواصفات كل دائرة بما يأتي:

1. **دائرة الباعث المشترك Common Emitter**
2. **دائرة القاعدة المشتركة Common Base**
3. **دائرة الجامع المشترك Common Collector**

ويبين الجدول (8-1) خصائص كل دائرة من الدوائر أعلاه.

جدول 8-1 خصائص دوائر ربط الترانزستور في دائرة المكبر

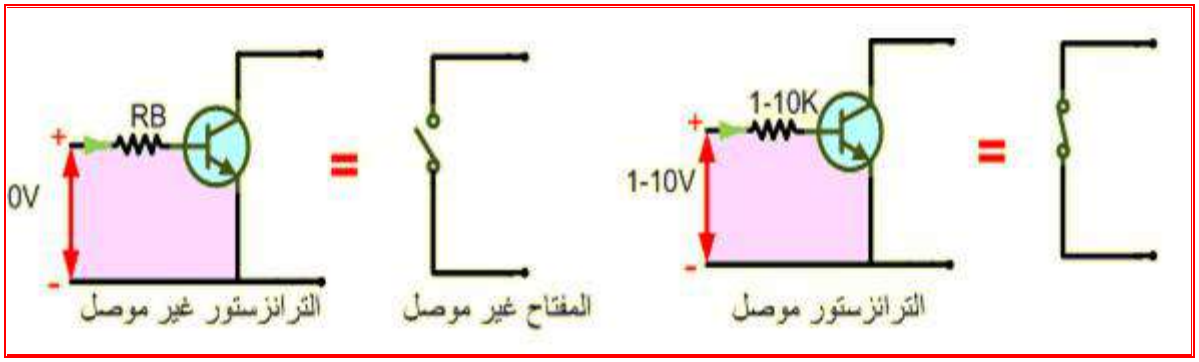
تشكيلة الترانزستور	الباعث مشترك	قاعدة مشتركة	الجامع مشترك
كسب الجهد	نعم	نعم	لا
كسب التيار	نعم	لا	نعم
قلب الإشارة	نعم	لا	لا



شكل 8-8 استعمال الترانزستور كمكبر

ب- استعمال الترانزستور كمفتاح Transistor as A Switch

يعمل الترانزستور كمفتاح عند مرور تيار كافٍ في قاعدته لجعل فرق جهد الجامع قريباً من الصفر (يساوي حوالي 0.2 فولت)، ويقال في هذه الحالة إن الترانزستور في حالة التشبع، ويبين الشكل (8-9) دائرة عمل الترانزستور كمفتاح.



شكل 8-9 عمل الترانزستور كمفتاح

5-8 الدوائر المتكاملة Integrated Circuits IC

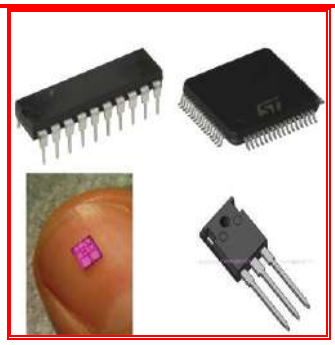
تتكون الدائرة المتكاملة من مجموعة من عناصر أشباه الموصلات مثل الدايود، والترانزستور، وغيرها مع ملحقاتها من المقاومات والمكثفات وشريحة رقيقة، إذ تعمل عمل دائرة إلكترونية صغيرة الحجم متكاملة وموثوقة التشغيل ورخيصة الثمن، ويبين الشكل (8-10) بعض أنواع الدوائر المتكاملة. وتصنف الدوائر المتكاملة تبعاً لأعداد شبه الموصلات فيها، ويسمى مقياس التكامل Scale of Integration SI، ويوضح الجدول (8-2) حدود تصنيف مقياس التكامل.

جدول 8-2 حدود تصنيف مقياس التكامل

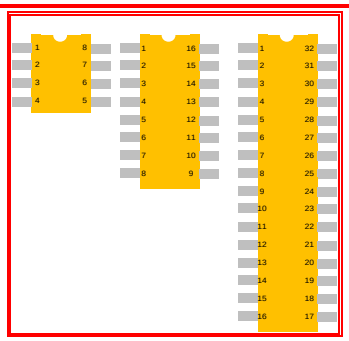
مقياس التكامل SI	الإسم المختصر	عدد أشباه الموصلات
صغير Small	SSI	10-1
متوسط Medium	MSI	100-10
كبير Large	LSI	1000-100
كبير جدا Very Large	VLSI	10000-1000
فائق الكبر Super Large	SLSI	100000-10000

وأكثر الدوائر المتكاملة شيوعاً هي أنواع مزدوجة الصفوف تتكون من أغلفة من اللدائن أو من الخزف، وتحتوي على أطراف معدنية لتثبيتها وتسمى بالدبابيس، ويتراوح عدد الدبابيس فيها من 8 إلى 40 دبوساً، ويتم ترقيم الدبابيس كما مبين في الشكل (8-11).

وتصنف الدوائر المتكاملة تبعاً لوظيفتها على قسمين، أحدهما الدوائر المتكاملة الخطية، وأشهرها مكبرات التشغيل، ومنظمات فرق الجهد، والمؤقتات، والآخر الدوائر المتكاملة الرقمية، وأشهرها الدوائر المنطقية، والعدادات والذاكرة المؤقتة. وهنالك أنواع أخرى من الدوائر المتكاملة تحول الإشارة المتماثلة إلى إشارة رقمية والعكس، وهنالك تقنيتان مشهورتان لإنتاج الدوائر الرقمية هما سيموس CMOS، والأخرى تي تي ال TTL.



شكل 8-10 بعض أنواع الدوائر المتكاملة

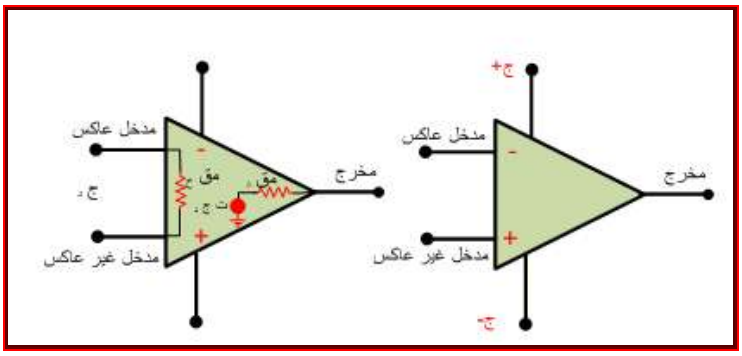


شكل 8- 11 الدوائر المتكاملة مزدوجة الصفوف

وفيما يلي شرحاً لبعض أنواع الدوائر المتكاملة وتطبيقاتها:

1-5-8 مكبرات التشغيل Operational Amplifiers

تم تطوير مكبرات التشغيل منذ عدة سنوات لاستعمالها في العمليات الرياضية كالجمع والطرح في الحاسب التماثلي، وتطور استعمالها ليشمل أجهزة القياس والسيطرة في عدة منظومات منها منظومات التثليج وتكييف الهواء، وتجدر الإشارة أن مستعمل هذا النظام لا يحتاج إلى معرفة التفصيلات الدقيقة لهذا النظام من أجل استعماله، وإنما يكتفي بمعرفة مواصفاته الأدائية، كما موضح في الشكل (8-12).



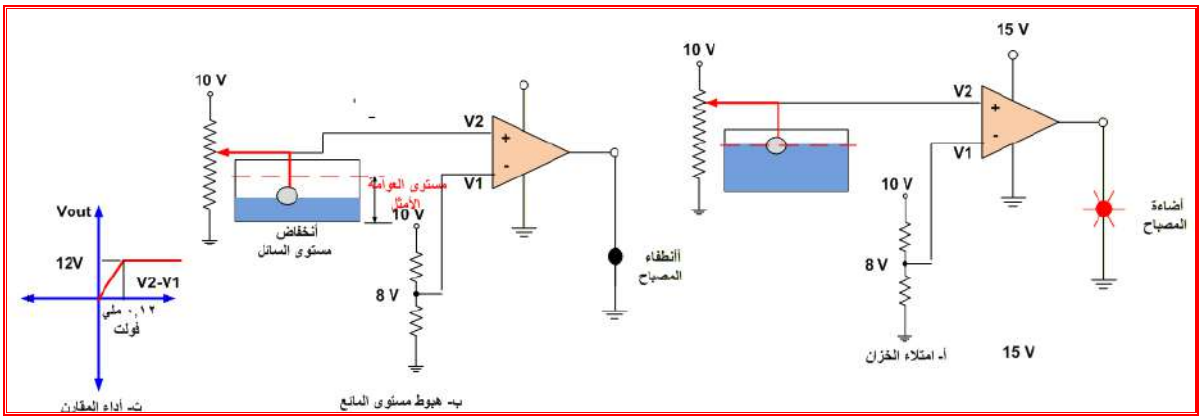
شكل 8-12 مكبرات التشغيل

1-1-5-8 استعمالات مكبر التشغيل

يستعمل مكبر التشغيل في تطبيقات كثيرة منها:

أ- المقارن Comparator

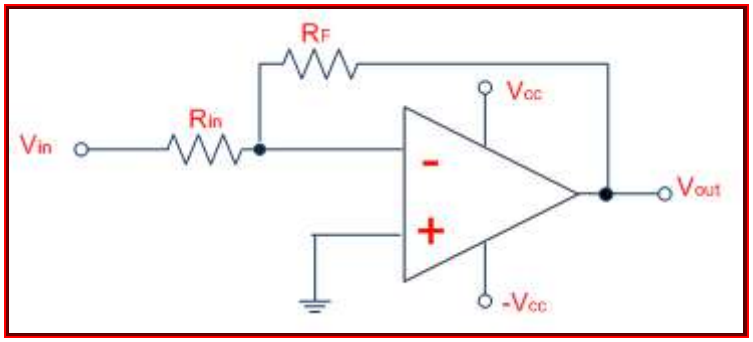
المقارن عبارة عن دائرة تقارن بين مدخلين، إذ تتم المقارنة بين المدخل عند الدبوس العاكس والدبوس غير العاكس، فإذا كان المدخل عند الدبوس غير العاكس أكبر من المدخل عند الدبوس العاكس كان مخرج المكبر مشبعاً موجباً. والعكس يعطي مخرجاً يساوي صفراً. ومن أبسط دوائر المقارن هي الدائرة التي تتحكم بمستوى مائع داخل خزان، كما مبين في الشكل (8-13) فعندما يكون الفرق بين جهد المدخل V_2 أكبر من جهد المدخل V_1 بمقدار صغير يقوم المكبر بتكبير الفرق بمقدار 100000 مرة، أي إنه إذا كان الفرق يساوي 0.12 mV ، فإن المكبر يجعله يساوي 12 V، وهذا يؤدي إلى إنارة المصباح.



شكل 8-13 استعمال المكبر لبيان مستوى السائل في خزان

ب- دائرة المكبر العاكس Inverting Amplifier Circuit

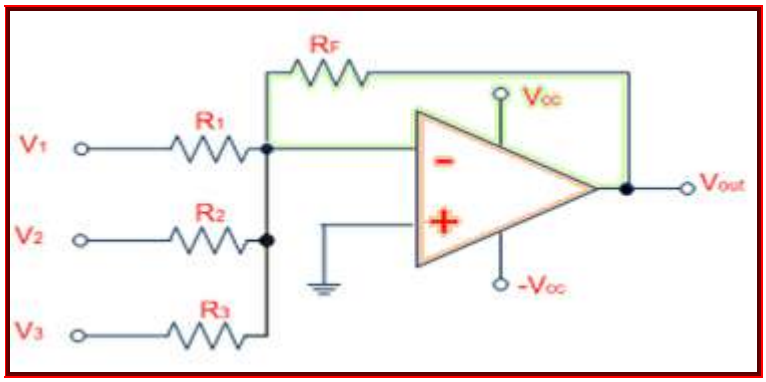
يبين الشكل (8-14) دائرة المكبر العاكس، وتعمل هذه الدائرة على تكبير الإشارة الكهربائية أو تصغيرها اعتماداً على مقاومتين في الدائرة. توضع المقاومة الأولى R_{in} بين إشارة المدخل والمدخل العاكس، في حين توضع المقاومة الثانية R_F بين المدخل العاكس والمخرج، ويعرف معامل التكبير بأنه النسبة بين المقاومة الثانية R_F إلى المقاومة الأولى R_{in}.



شكل 8-14 دائرة المكبر العاكس

ت- دائرة مكبر الجمع Summing Amplifier

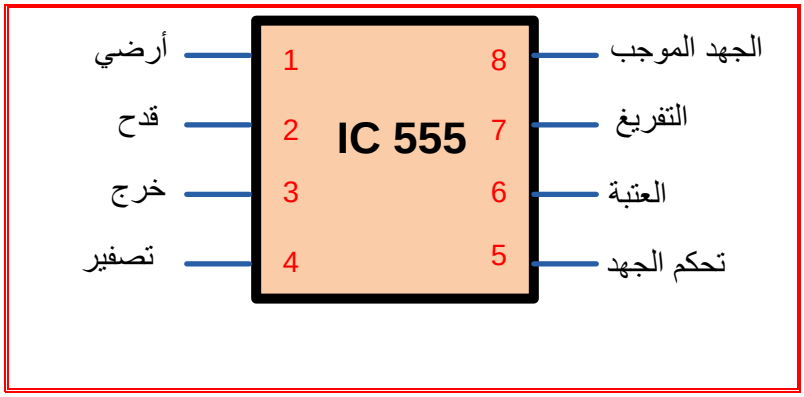
يبين الشكل (8-15) دائرة مكبر الجمع، يعمل هذا المكبر على تجميع جهدين داخلين أو أكثر جمعاً جبرياً بعكس الإشارة. يتميز هذا المكبر بإمكانية تكبير كل داخل بنحوٍ مستقل، وذلك عن طريق نسبة المقاومات الخاصة.



شكل 8-15 جامع بثلاثة مداخل

ث- المؤقتات الزمنية Timers

المؤقتات الزمنية عبارة عن دائرة متكاملة الفائدة منها توفير نبضات محددة ذات ترددات معينة، ومن أشهر تلك الدوائر هي المؤقت 555 الذي يتميز بتطبيقات غير محدودة في توليد النبضات. ويتكون المؤقت 555 من دائرة متكاملة موضوعة في غلاف من اللدائن، ويحتوي على ثمانية دبابيس، كما مبين في الشكل (8-16)، ويتم تغذية الدبوس رقم 8 بفرق جهد لتيار مستمر يتراوح من 5 إلى 15 فولت، في حين الدبوس رقم 1 بالأرضي، ووظيفة الدبوس رقم 3 هو لإخراج النبضات، في حين إن الدبوس رقم 2 يعمل عمل قادح للدائرة، ويحدد فرق الجهد عند الدبوس رقم 6، الذي يقوم بتغيير حالة المؤقت الداخلية عند الوصول إليه. إما إذا أريد للدائرة أن تعمل بصورة مستمرة فيوصل الدبوس رقم 4 بجهد المصدر، إما إذا تم توصيل الدبوس رقم 4 بالأرضي، فيتوقف عمل الدائرة. وللمؤقت تشكيلتان، هما الوضع المستقر Mono Stable، إذ يخرج نبضات معينة تستمر لفترة معينة من الزمن، وا لأخرى الوضع غير المستقر Unstable، إذ يعمل عمل مذبذب حر يخرج نبضات بتردد معين.



شكل 8-16 المؤقت الزمني 555

أسئلة الفصل الثامن

س1: املأ الفراغات الآتية بما يناسبها:

1- المواد الموصلة الكهربائية هي المواد التي.....

2- من المواد الموصلة.....و.....و.....

3- المواد العازلة هي المواد.....

4- أشهر المواد شبه الموصلة المستعملة في صناعة العناصر الإلكترونية هي..... يليه في ذلك.....

5- في حالة الانحياز الأمامي يوصل الأنود بالقطب ..... للمصدر، في حين يوصل الكاثود بالقطب ..... للمصدر.

6- في حالة الانحياز الخلفي يوصل الآنود بالقطب ..... للمصدر في حين أن الكاثود يوصل بالقطب ..... للمصدر.

7- تتكون الدائرة المتكاملة من مجموعة من عناصر.....مثل.....و.....وغيرها مع ملحقاتها من المقاومات والمكثفات وشريحة رقيقة، إذ تعمل عمل دائرة .....

8- المؤقتات الزمنية عبارة عن ..... الفائدة منها توفير نبضات محددة ذات .....، ومن أشهر تلك الدوائر هي .....

9- يقوم الوضع المستقر للمؤقت 555 بإخراج نبضات .....

10- يعمل المؤقت الزمني 555 في الوضع غير المستقر بعمل ..... يخرج .....

س2: مم يتكون الدايود؟

س3: اشرح طريقة عمل الدايود؟

س4: اذكر استعمالات الدايود.

س5: مم تتكون قنطرة تقويم التيار المتردد وما وظيفتها؟ وضح إجابتك بالرسم.

س6: ما الفرق بين تقويم نصف الموجة وتقويم الموجة الكاملة؟ وضح إجابتك بالرسم.

س7: ما فائدة المتسعة في دائرة تقويم التيار؟

س8: ما هما النوعان الأساسيان للترانزستور؟

س9: عدد استعمالات الترانزستور مع الشرح.

س10: ارسم دائرة عمل الترانزستور كمفتاح.

س11: عرّف مكبرات التشغيل، وما هي استعمالاتها؟

س12: اذكر ثلاث وظائف لمكبر التشغيل.

تم بعونه تعالى