المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

الكليات التقنية

الحقيبة التدريبية :

تكييف الهواء المركزي
(نظري)

في تخصص التبريد وتكييف الهواء

مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد بن عبد الله وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على الله ثم على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " **تكييف الهواء المركزي (نظري)**" لمتدربي تخصص " التبريد **وتكييف الهواء** " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجلً أن تسهم بالشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، مدعم بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه؛ إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

الفهــرس

الموضـــوع	رقم الصفحة
مقدمة	
الفهرس	
تمهيد	1
الوحدة الأولى : أنظمة تكييف الهواء المركزي	3
مقدمة	4
النظام الهوائي الكلي	4
النظام المائي الكلي	6
النظام الهوائي- المائي	9
حساب معدلات سريان الهواء والماء في وحدات التكييف	11
تمارين	13
الوحدة الثانية : نشر الهواء داخل الحيز المكيف	14
مقدمة	15
تعريف	15
المفاهيم الأساسية لنشر الهواء	15
أنماط نشر الهواء	16
أنواع أجهزة تغذية الهواء	17
اختيار أجهزة هواء التغذية	22
أجهزة الهواء الراجع	22
اختيار أجهزة الهواء الراجع	22
تمارين	30

الموضـــوع	رقم الصفحة
الوحدة الثالثة : أنظمة توزيع الهواء	31
مقدمة	32
تصنيفات أنظمة توزيع الهواء	32
أنواع مجاري الهواء	35
تمارين	39
الوحدة الرابعة : تصميم المجاري الهوائية	41
مقدمة	42
الفقد في وصلات ومجاري الهواء	42
طرق تصميم مجاري الهواء	58
النسبة الباعية	60
خطوات تصميم مجاري الهواء	61
تصميم مجاري الهواء باستخدام طريقة الاحتكاك المتساوي	62
اختيار وتحديد سعة المروحة	63
دراسة حالة	68
أنظمة الهواء الراجع	73
عزل مجاري الهواء	73
تمارين	75
الوحدة الخامسة : أنظمة توزيع الماء	78
مقدمة	78
المفاهيم الأساسية لأنظمة توزيع الماء	78
مواصفات وخامات الأنابيب	78
اختيار الأنابيب	81
تمدد الأنابيب	82

الموضـــوع	رقم الصفحة
حوامل ومثبتات الأنابيب	84
الاهتزاز في الأنابيب	86
التركيبات وطرق توصيلها مع الأنابيب	86
أنواع الصمامات وتركيبها	87
خزانات التمدد	95
تمارين	97
الوحدة السادسة : تصميم منظومة الماء	113
مقدمة	113
إجراءات تصميم أنظمة توزيع الماء	113
حساب مقاسات أنابيب الماء	115
هبوط الضغط في الأنابيب والتركيبات	116
اختيار المضخات	118
تصميم دوائر أنابيب الماء	120
أنظمة التسخين بالبخار	124
عزل الأنابيب	124
تمارين	125
الوحدة السابعة : جودة الهواء الداخلي	129
مقدمة	130
متطلبات التهوية	130
المفاهيم الأساسية لجودة الهواء الداخلي	131
تلوث الهواء	132
مرشحات الهواء	134
طرق اختبار المرشحات	141

الموضـــوع	رقم الصفحة
تمارين	146
الوحدة الثامنة : الاختبار والضبط والموازنة لأنظمة التكييف	130
مقدمة	131
تعريف المصطلحات الفنية	131
الاختبار والضبط والموازنة لأنظمة تكييف الهواء المركزي	132
التقرير الخاص بمشروع الاختبار والضبط والموازنة	141
تمارين	145
اختبار ذاتي	145
حلول أسئلة الاختبار الذاتي	151
المصطلحات	161
الرموز	170
المراجع	172

تمهيد
Introduction

بدأ التطور الفعلي في مجال تكييف الهواء أو بصورة أدق تقنية التسخين، التهوية، تكييف الهواء والتبريد مع بداية القرن الماضي على يد العالم د/ ولس كرير مؤسس شركة كرير العالمية للتكييف. ونسبة لأهمية تكييف الهواء في راحة وصحة الإنسان فقد أصبح هذا المجال من المجالات الهامة التي تؤثر في استهلاك الطاقة. في المملكة العربية السعودية انتشر استخدام التكييف المركزي في العديد من المباني الحكومية والخاصة السكنية منها والتجارية والصناعية وغيرها.

ظلت أنظمة التكييف المركزي تشهد تطوراً مطرداً في الآونة الأخيرة خصوصاً مع التوسع المعماري في المباني والنهضة الصناعية التي يشهدها العالم هذه الأيام وما يصاحب ذلك من ارتفاع في أسعار الطاقة. وعليه فقد تم تطوير أنظمة الهواء المتغير الحجم وإدخال أنظمة إدارة الطاقة في المباني وأنظمة التحكم الرقمي المباشر من أجل الحصول على أداء أفضل للأجهزة وترشيد استهلاك الطاقة (تشير الدراسات إلى أن أجهزة التكييف في المملكة تستهلك ما يعادل (80 %) من جملة الاستهلاك الكلي للطاقة الكهربائية في القطاع السكني)، بالإضافة إلى تقليل تكاليف التشغيل والصيانة وهذا ما لمسناه بالفعل في العديد من أجهزة التكييف المركزي التي أدخلت حديثاً في مختلف المباني بمدن المملكة.

هذه الحقيبة التدريبية تشكل مرجعاً هاماً لأبنائنا المتدربين يساعدهم في الفهم الصحيح لنظام التكييف المركزي والأنظمة المختلفة التي يتكون منها وهي نظام نشر الهواء ونظام توزيع الهواء ونظام توزيع الماء ومتطلبات جودة الهواء الداخلي.

تضم الحقيبة ثمان وحدات تدريبية:

الوحدة الأولى: يتم فيها التعرف على أنظمة تكييف الهواء المركزي وتصنيفاتها المختلفة بالإضافة إلى مزايا وسلبيات كل نظام.

الوحدة الثانية :تعطي شرحاً مفصلاً عن نشر الهواء داخل الأماكن المكيفة وأنواع وطرق اختيار أجهزة تغذية الهواء داخل الغرف.

الوحدة الثالثة: تشرح بالتفصيل أنظمة توزيع الهواء بين مناطق المبنى المختلفة وتصنيفها حسب شكلها و معدل سرعة الهواء الذي يمر خلالها.

الوحدة الرابعة: تعطي شرحاً مفصلاً عن تصميم المجاري الهوائية باستخدام طريقة الاحتكاك المتساوي.

الوحدة الخامسة: تشرح بالتفصيل أنظمة توزيع الماء في نظام التكييف المركزي وما تحتويه من أنابيب وصمامات وخزانات تمدد.

الوحدة السادسة: تعطي شرحاً مفصلاً عن تصميم دوائر الماء واختيار المضخة المناسبة.

الوحدة السابعة: تشرح طرق تحسين جودة الهواء الداخلي للأماكن المكيفة وأنواع المرشحات المستخدمة في نظام التكييف المركزي وطرق اختبارها واختيارها وصيانتها.

الوحدة الثامنة: يتم فيها التعرف إلى عمليات الاختيار والضبط والموازنة لأنظمة ومعدات التكييف واختبار جودة الهواء في الأماكن المكيفة.

وقد تم عرض الحقيبة بأسلوب مبسط وتزويدها بأعداد كبيرة من الرسومات والمخططات التوضيحية والتمارين المحلولة بحيث يسهل فهمها واستيعابها، ونتمنى من الله العلي القدير أن نكون قد وفقنا في إعدادها وتقديمها لأبنائنا المتدربين بالصورة المطلوبة.

الوحدة الأولى

أنظمة تكييف الهواء المركزي

الوحدة الأولى : أنظمة تكييف الهواء المركزي

Central A/C Systems

الهدف العام :

التمييز بين أنظمة تكييف الهواء المركزي ومعرفة مزايا وسلبيات كل منها.

الأهداف التفصيلية :

عندما تكمل هذه الوحدة تكون قادراً على:

1. وصف مبدأ عمل نظام تكييف هواء مركزي.
2. التعرف على مكونات كل نظام.
3. التعرف على الفروق بين أنظمة تكييف الهواء المركزي.

الوقت المتوقع للتدريب :

ساعتان دراسية.

الوحدة الأولى : أنظمة تكييف الهواء المركزي

Central A/C Systems

1 - مقدمة (Introduction)

يتم تركيب أنظمة تكييف الهواء المركزي غالبًا في المساكن الحديثة والفنادق والمستشفيات واستوديوهات البث والمكتبات والأبنية العامة حيث تحتوي مجاري هواء ذات أحجام كبيرة. واكتسبت هذه الأنظمة أيضا شعبية في الاستخدام في المباني التجارية ويتم تصنيف أنظمة تكييف الهواء تبعاً لنوعية المائع الحامل للحرارة من المكان المكيف إلى ثلاثة أنظمة أساسية هي:

- نظام هوائي كلي (All-air system).
- نظام مائي كلي (All-water system).
- نظام مائي / هوائي (Air-water system).

2 - النظام الهوائي الكلي (All-air system) :

في هذا النظام تتم معالجة الهواء في وحدات مناولا ت الهواء (Air handling unit) ثم يسري الهواء المبرد أو المسخن خلال مجاري هوائية تنتهي بمخارج لتوزيع الهواء في الأماكن المراد تكييفها. هذه الأنظمة تكون ذات مجرى واحد (Single duct) مع مخارج لتوزيع الهواء أو ذات المجرى الثنائي (Dual duct).

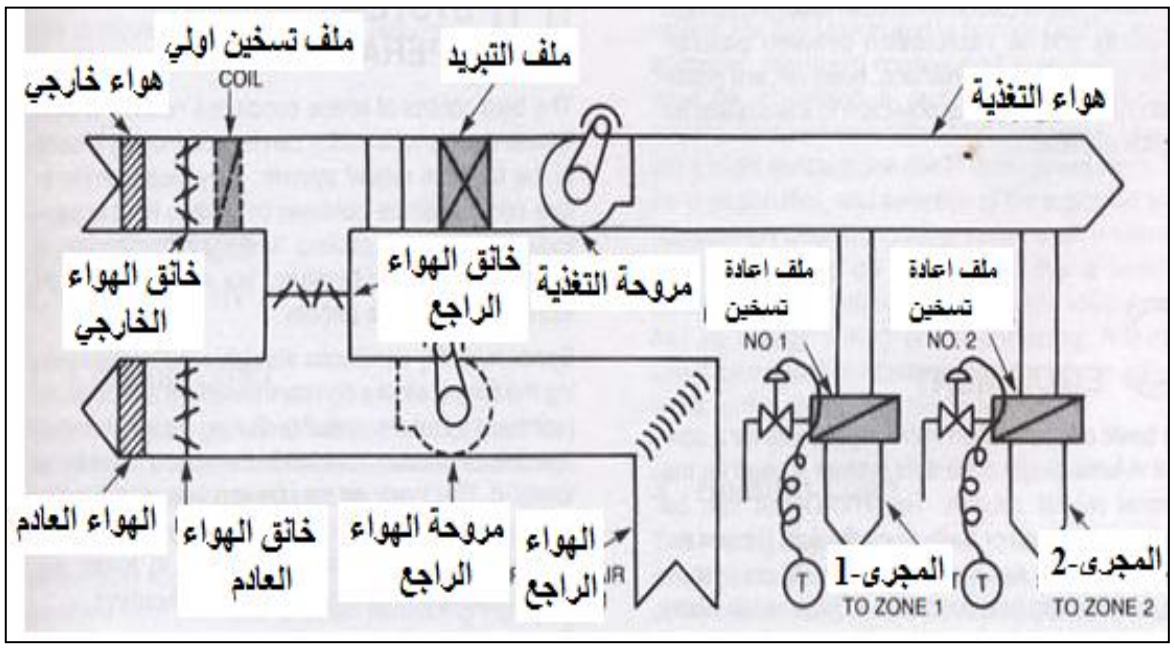
2 ـ1 - أنظمة ذات مجرى واحد (Single duct systems):

تستخدم في أماكن يكون فيها عادة عدد الأشخاص ثابتا وفي بعض الأحيان متغيرا كالمستودعات والمكاتب والمصانع، حيث إنها غالبا لا تحتاج إلى تحكم دقيق في درجة الحرارة والرطوبة، ويتم تصنيف هذه الأنظمة حسب للأداء إلى مجموعتين هما:

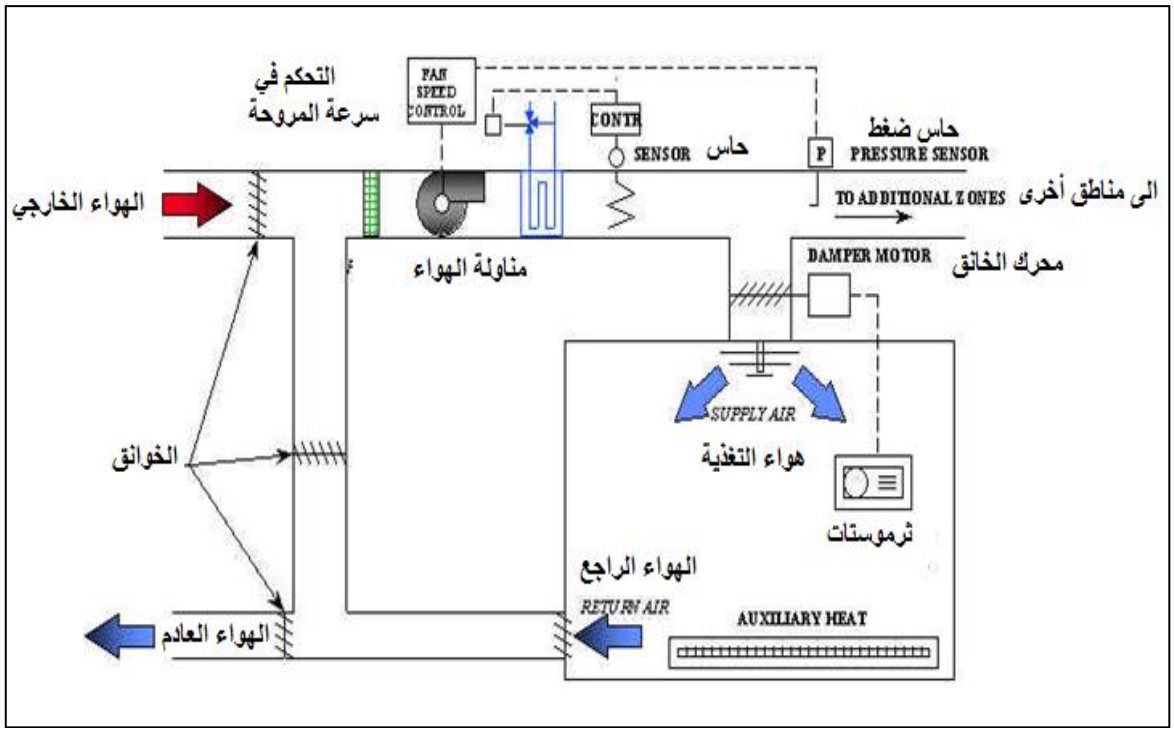
(أ) أنظمة ثابتة الحجم ومتغيرة درجة الحرارة:

(Constant air volume & variable temperature systems)

يتم التحكم في تشغيل وإيقاف الوحدات باستخدام تحكم موضعين (On-off control) أو بإعادة التسخين (Reheat air system) كما في الشكل (1- 1)، أو تحكم خوانق وجه مع إمرار جانبي (Face Damper & by pass system).



شكل (1- 1) : نظام هواء كلى ثابت الحجم ومتغير درجة الحرارة (اعادة تسخين)



شكل (1- 2): نظام هواء كلي متغير الحجم ثابت درجة الحرارة.

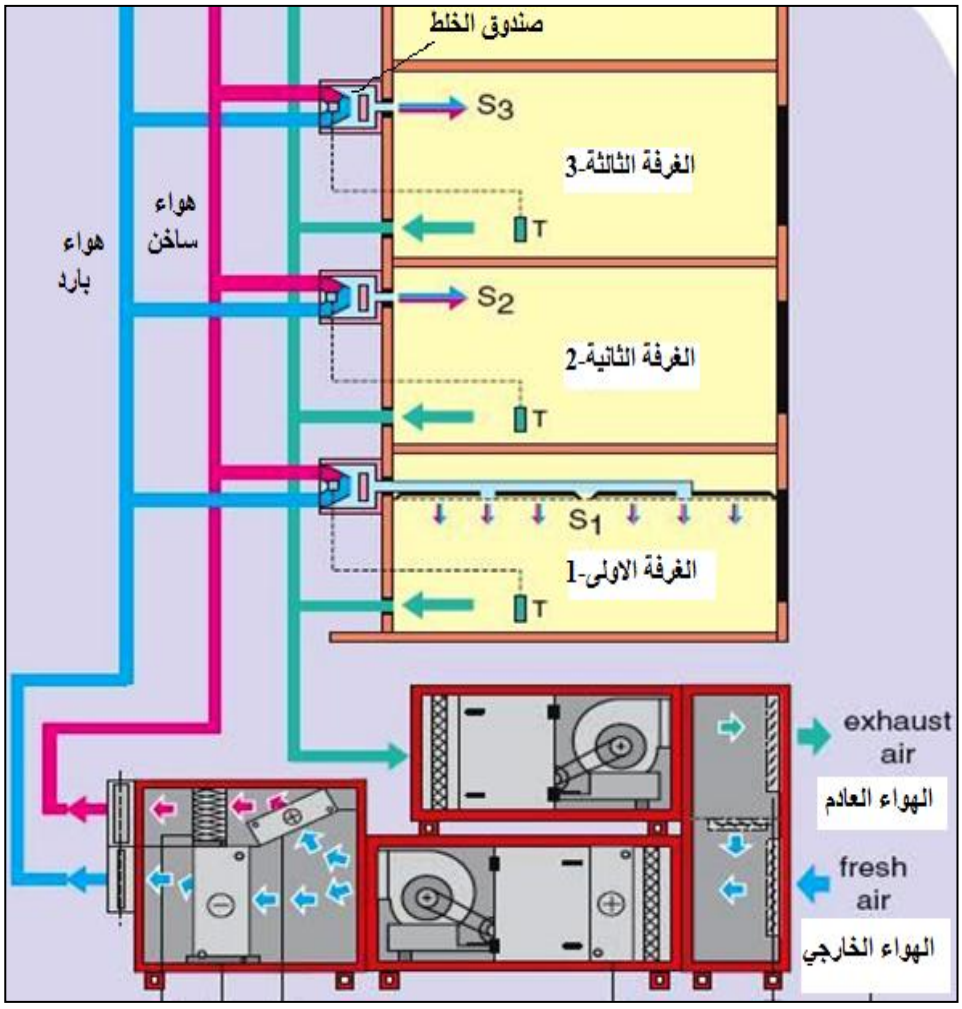
(ب) أنظمة متغيرة الحجم ثابتة درجة الحرارة :

(Variable air volume & Constant temperature systems)

يرمز لنظام حجم الهواء المتغير ب (VAV system) حيث تستخدم خوانق للتحكم في حجم هواء التغذية (Volume Control Dampers) عند الوحدة الطرفية. تستخدم نظم حجم الهواء المتغير مع الأحمال الحرارية الثابتة على مدار السنة مثل المخازن التجارية والفنادق والمستشفيات والمدارس...الخ. الشكل (1- 2) يمثل نظام هواء كلي متغير الحجم ودرجة حرارة ثابتة.

2-2- نظام المجرى الثنائي : (Dual duct system)

هذا النظام المزدوج يتكون من تياران من الهواء: تيار أول ذو حجم هواء ثابت ودرجة حرارة متغيرة وتيار هوائي ثاني ذو درجة حرارة ثابتة و حجم هواء متغير.



شكل (1- 3) : نظام المجرى الثنائي

يستخدم نظام المجرى الثنائي في المباني متعددة الطوابق في الفنادق والشقق السكنية والمستشفيات والمدارس والمعامل الكبيرة حيث يتم تغذية الهواء البارد والهواء الحار عبر مجاري منفصلة (الشكل 1- 3). يتم التحكم في درجة الحرارة للأماكن والمناطق المراد تكييفها كلاً على حدة، ويمكن الحصول على التحكم في درجة الحرارة عن طريق صندوق الخلط بخلط الهواء البارد والحار بنسب حسب ضبط الثيرموستات الموجود في المكان أو المنطقة.

- **مزايا أنظمة الهواء الكلي** (Advantages of overall air system)**:**

- بساطة التصميم (Simple design): هذه الأنظمة سهلة التصميم والتركيب والتشغيل.
- تكلفة أولية منخفضة (Low initial cost).
- الاقتصاد في التشغيل (Economy of operation): ذلك أن الهواء الخارجي وحده يمكن أن يغطي احتياجات التكييف في الظروف المناخية المعتدلة فهذا يؤدي إلى ترشيد استخدام التبريد بالإضافة إلى أنه في أغلب الأحيان تكون الأماكن التي يخدمها هذا النظام محدودة وبالتالي فإن عمل النظام يكون مقتصرا على أوقات محددة.
- التشغيل الهادئ (Quiet operation): حيث إن جميع الأجهزة الميكانيكية يتم تركيبها في أماكن بعيدة.
- مركزية الصيانة (Centralized Maintenance): نجد أن ماكينات التبريد ووحدات مناولة الهواء توجد في مكان واحد احيانا الأمر الذي يجعل عمليات الصيانة مركزة في غرفة الماكينات.

3 - **النظام المائي الكلي** (All-Water System) :

في هذه الأنظمة يتم استخدام مبردات المياه أو الغلايات لتوصيل الماء البارد أو الحار حسب المنطقة وحالة الطقس عبر دوائر توزيع مياه بدلا من المجاري الهوائية إلى وحدات ملف مروحة أو مناولات الهواء. يتم التحكم في درجة حرارة الهواء بواسطة التحكم في معدل سريان الماء خلال الملف عن طريق صمامات تحكم ثنائية أو ثلاثية.

تنقسم أنظمة الماء الكلي إلى نظامين أساسيين:

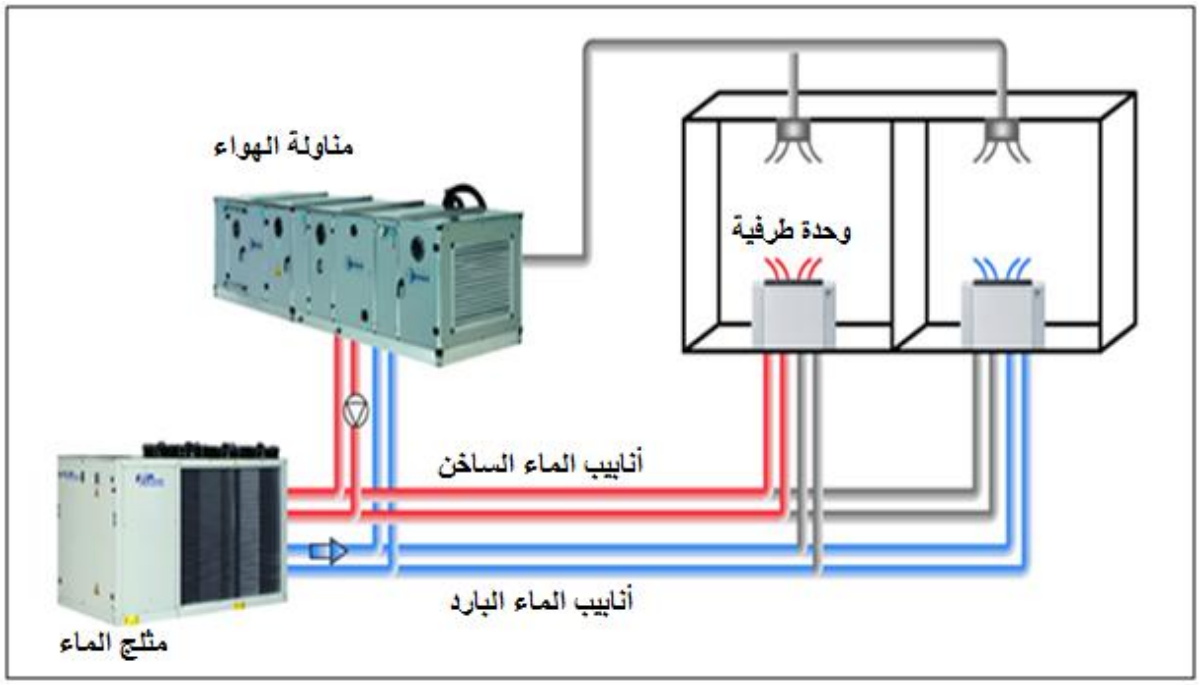
3 ـ 1 الوحدات ملف- مروحة (Fan coil units):

يعتبر نظام الوحدات ملف - مروحة الأرخص والأوسع انتشارا في الوقت الحاضر في للفنادق والمباني المكتبية والمراكز الطبية.

يمكن أن يكون هذه النظام ذا أنبوبين (2-pipes system) حيث يكون الأول لتغذية الماء البارد أو الساخن للوحدة والآخر للماء الراجع من الوحدة أو متعدد الأنابيب حيث توجد أنبوبتان لتغذية الماء (البارد و الساخن) لوحدة الملف- مروحة وأنبوبة واحدة للماء الراجع للنظام ثلاثي الأنبوب (3-pipes system) أو أنبوبتان للماء الراجع للنظام رباعي الأنبوب 4-pipes (system) (الشكل 1- 4).

من مزاياه :

- قلة التكلفة.
- لا يحتاج إلي مسالك هوائية.
- لا يشغل حيزا كبيرا.
- سهولة التركيب.



شكل (1- 4): نظام ملف- مروحة رباعي الأنابيب

ومن عيوبه:

- لا يوفر التحكم الجيد في رطوبة الهواء للغرفة.
- إجراء الصيانة داخل الأماكن المكيفة.
- تكون البكتيريا في مواسير المياه.
- تأثر تهوية الغرف بسرعة الرياح، الأمطار وتسرب الحشرات خلال الفتحات الحائطية.

3 2 - **الأسقف المبردة:** (Chilled Ceilings)

في هذا النظام يتم تبريد بواسطة طريقتين:

(أ) الطريقة الأولى:

تستخدم فيها أنابيب في شكل ملفات يتم دفنها داخل خرسانة السقف أثناء التشييد وتغطى من أسفل عن طريق اللياسة أو غيرها. تكلفتها الابتدائية عالية وتستخدم مع سعات التبريد العالية وتكون المسافات بين الأنابيب متقاربة.

(ب) الطريقة الثانية:

يتم فيها تعليق الأنابيب بواسطة قضبان قصيرة ومثبت فوقها عازل للسقف. الشركات المصنعة تنتجها في أشكال مختلفة.

بالرغم من أن هذا النظام غير شائع الاستخدام إلا أن له مزايا كثيرة وهي:

- اقتصادي التشغيل.
- لا يشغل حيزا من أرضية الغرفة.
- لا يحتاج إلى أعمال وصلات وتركيبات كالتي تحتاجها الوحدات الطرفية.
- هادئ التشغيل لوجود عازل في السقف.

ومن عيوب النظام:

نتيجة للأسباب الآتية نجد أن هذا النظام نادر الاستخدام وهي:

- تكلفته الابتدائية عالية.
- وجود الأنابيب يشغل حيزا أسفل السقف مما يعيق عملية إعادة تفصيل وتقسيم المبنى.
- ضرورة تركيب أسقف مستعارة في الممرات تحت مجاري الهواء مع مصادر إضاءة مخفية (Recessed Light).

- عدم التحكم في الرطوبة.
- عدم التحكم في التهوئة.

4 - النظام الهوائي- المائي: (Air-Water Systems)

تتم المعالجة الأولية للهواء داخل وحدة مناولة هواء ثم يضخ الى الحيز مباشرة او من خلال وحدات حث أو وحدات ملف مروحة ويستخدم هذا النظام الماء والهواء جميعاً للتبريد والتسخين.

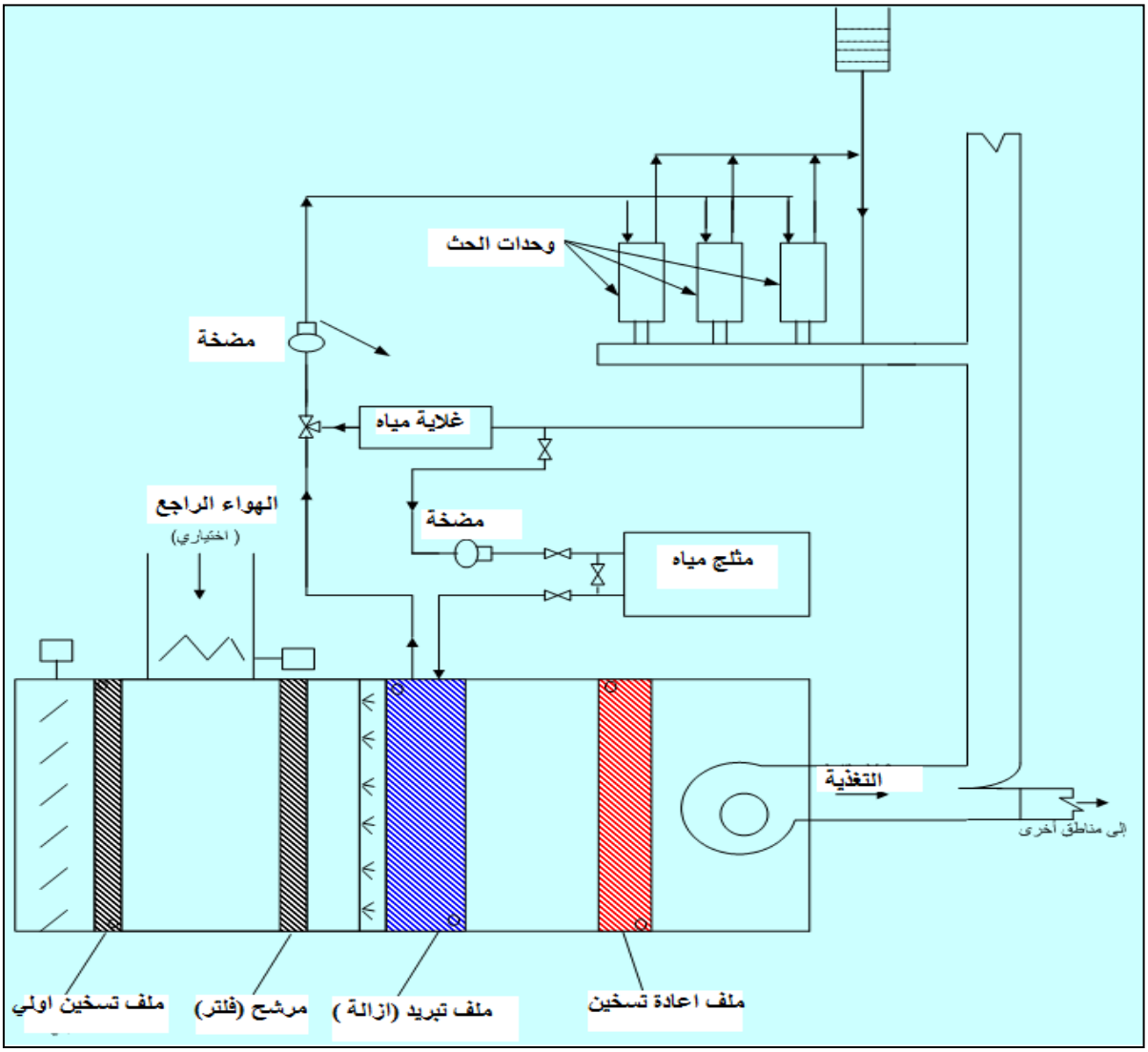
4 1 نظام وحدة الحث: (Induction unit system)

يستخدم نظام وحدة الحث الهوائي المائي في الغرف المحيطة للمباني متعددة الغرف متعددة الطوابق كالمكاتب، الفنادق، غرف المرضى بالمستشفيات وكذلك الشقق السكنية. ويصمم هذا النظام خصيصا للمباني التي تمتاز بأحمال محسوسة ذات طبيعة انعكاسية حيث تحتاج غرفة مثلاً إلى تبريد في حين أن الغرفة المجاورة تحتاج إلى تسخين بالإضافة إلى أن النظام يناسب أحمال المباني الحديثة مثل ناطحات السحاب حيث إن مكان الأجهزة والمعدات يكون محدودا. يوضح الشكل (1- 5) نظام وحدة حث يستخدم هواء أولياً وهواء خارجياً. وتكون وظيفة الهواء الأولي هي:

- تزويد الغرفة بالهواء اللازم للتهوية.
- الحصول على إزالة الرطوبة للتغلب على الأحمال الكامنة للغرف.
- إعطاء القوة اللازمة لحث ودفع الهواء للغرفة.

وتكون وظيفة دورة الماء الثانوية هي التغلب على الحرارة المكتسبة من الشمس، الإضاءة، الأشخاص والأحمال المتسربة للغرفة (Transmission loads).

يتم ترفيع درجة حرارة الهواء الأولي بواسطة ملف إعادة التسخين لمنع درجة حرارة الغرفة من الانخفاض إلى أقل من 22 مئوي، عندما يكون الحمل داخل الغرفة عند أدنى مستوى له. وفي بعض التطبيقات يفضل تشغيل الجهاز في فصل الشتاء بتزويد الوحدة بماء ساخن وهواء أولي بارد هذا الوضع يطلق عليه عادة نظام التبديل (Change-over system).



شكل (1- 5) : نظام وحدة حث يستخدم هواء أولياً وهواء خارجياً.

4- 2- نظام وحدة ملف – مروحة مع هواء أولي (Primary air fan-coil system)

تستخدم وحدة الملف- مروحة مع هواء أولي مع النظام الهوائي المائي وهي تشبه إلى حد كبير نظام وحدة الحث. الفرق الأساسي هو استبدال وحدة الحث بوحدة الملف – مروحة. أكثر التطبيقات التي تناسب هذا النظام هي المباني المتعددة الغرف كالفنادق و المستشفيات والشقق حيث إن الوحدات يمكن تحويلها لتعمل في الشتاء.

يتم تزويد جهاز وحدة الملف – مروحة بمصادر للماء الساخن أو الماء البارد حسب درجة حرارة الجو الخارجي ومصدر للتهوية.

يمتاز هذا النظام على نظام وحدة الحث بأدائه الجيد وهدوء التشغيل ولكن نسبة للتكلفة المبدئية العالية للنظام فإن اختيار نظام وحدة الحث يصبح ذا ميزة. من مزايا هذا النظام:

- التدفئة والتبريد في آن واحد.

يوفر النظام احتياجات المبنى من التبريد والتدفئة صيفا وشتاء.

- التحكم المنفصل في درجة الحرارة لكل غرفة.
- توفير هواء التهوية في كل الأوقات.
- توفير توزيع الهواء من أسفل النوافذ خصوصا في الأماكن الباردة شتاءً.

5 - حساب معدلات سريان الهواء والماء في وحدات التكييف والمناطق المكيفة

(Air flow rate & Water flow rate calculations)

يتم حساب سعة التبريد للوحدة (Cooling Load) من خلال حساب الأحمال لكل مكان أو منطقة يراد تكييفها فنحصل بالتالي على هذه السعة وتختصر باللغة الانجليزية (C.L).

في ظل معرفتنا بهذه السعة التبريدية يمكن حساب معدل السريان الكمي للهواء المدفوع من طرف وحدة طرفية أو ناشر بالمعادلة التالية :

$$\dot{m}_a = \frac{C.L}{\Delta h_a}$$

حيث:

- $\dot{m}_a$: معدل السريان الكتلي للهواء بحساب kg/s.
- Δh_a : تمثل الفرق بين إنثالبي الهواء الراجع (درجة التكييف المطلوبة) وهواء التغذية, ($\Delta h_a = h_{aR} - h_{aS}$), بحساب kJ/kg .

ويتم حساب معدل السريان الحجمي للهواء $\dot{Q}_a$ عن طريق المعادلة التالية:

$$\dot{Q}_a = \frac{\dot{m}_a}{\rho_a} = \frac{C.L}{\Delta h \times \rho_a}$$

حيث: $\rho_a = 1.2 \ kg/m^3$ هي كثافة الهواء.

ولحساب معدل سريان الماء الكتلي في الوحدة الطرفية فيتم باستخدام المعادة التالية:

$$\dot{m}_w = \frac{C.L}{Cp_w \times \Delta T_w}$$

حيث:

- ΔT_w : تمثل الفرق بين درجتي حرارة الماء الخارج من الوحدة والماء الداخل (التغذية) إليها بحساب الكلفن أو المئوي، ($\Delta T_w = T_{wo} - T_{wi}$).
- $\dot{m}_w$: معدل السريان الكتلي للماء بحساب kg/s.
- Cp_w : الحرارة النوعية للماء بحساب kJ/kg.K ويقدر بحولي $C_{Pw} = 4.2 \ {}^{KJ}/_{Kg\ K}$

وباعتبار كثافة الماء تساوي $\rho_w = 1000 \ kg/m^3$ في الظروف الجوية العادية فيصبح معدل السريان الحجمي للماء:

$$\dot{Q}_w = \frac{C.L}{1000 \times Cp_w \times \Delta T_w}$$

تشكل وحدات مناولة الهواء ووحدات ملف مروحة بأنواعها المختلفة مكونات نظام توزيع الهواء بالنسبة لجهاز التكييف المركزي. كما تعتبر النواشر والجريلات أجهزة نشر الهواء في المساحات الكبيرة.

مثال: احسب معدّل سريان الماء $\dot{Q}_w ({}^{l}/_{s})$ في ملف تبريد مناولة هواء إذا كان فرق درجتي الحرارة بين دخول وخروج الماء للملف (5 °C) والسّعة التبريرية للمناولة (25 TR)

الحل:

حسب معطيات المثال:

- السعة التبريدية: $C.L = 25 \ TR$
- فرق درجات حرارة الماء: $\Delta T = 5 \ ^{\circ}C$

وكثافة الماء ثابتة تقريبا: $\rho_w = 1000 \ kg/m^3$

وكذلك حرارته النوعية: $C_{Pw} = 4200 \ {}^{J}/_{Kg\ K}$

بالتالي فان معدل سريان الماء يكون:

$$\dot{Q}_w = \frac{25 \times 3500}{1000 \times 4200 \times 5} = 4.166 \times 10^{-3} \ {}^{m^3}/_{s}$$

وبحساب $({}^{l}/_{s})$: $\dot{Q}_w = 4.166$

تمارين :

1. لنظام التكييف الهوائي الكلى عدة أنظمة مختلفة. اذكرها وبين باستعمال جدول مزايا ومجال استخدام كل واحدة منها ؟
2. أرسم نظام الهواء ثنائي المجرى ثم اذكر مزايا وعيوب هذا النظام.
3. أذكر مزايا النظام المائي الكلي متعدد الأنابيب.
4. أرسم أنظمة الماء التالية:
   - نظام الأنبوب الواحد مع راجع مباشر.
   - نظام الأنبوب الواحد مع راجع عكسي.

وضح استخدامات كل نظام ومزاياه وسلبياته.

5. احسب معدّل سريان الماء $\dot{Q}_w (m^3/s)$ في وحدة ملف مروحة إذا كانت السّعة التبريدية للملف (5 TR) و درجة حرارة دخول الماء (13ºC) وخروج الماء من الوحدة (8 ºC).
6. عند ظروف خارجية 40 ºC ورطوبة نسبية 75%. نريد استخدام مناولة هواء ذات هواء خارجي كلي بسعة 20 TR لتقليل حرارة الهواء الخارجي عند الدخول الى الغرف للتهوئة عند درجات حرارة 28 ºC ورطوبة نسبية 60%.
   - احسب معدل السريان الحجمي للهواء عبر المناولة إذا علمت ان كثافة الهواء تقدر بحولي $1.2\ kg/m^3$
   - يتم تبريد ملف المناولة عن طريق الماء حيث الفرق بين درجتي الدخول والخروج للماء 5 ºC ، احسب معدل سريان الماءالذي يمر عبر ملف المناولة .

الوحدة الثانية

نشر الهواء في الحيز المكيف

الوحدة الثانية : نشر الهواء داخل الحيز المكيف

Space Air Distribution

الهدف العام :

اختيار أجهزة نشر الهواء لأنظمة التكييف المركزي.

الأهداف التفصيلية : عندما تكمل هذه الوحدة تكون قادراً على:

4. معرفة أنماط نشر الهواء.
5. التعرف على أنواع نشر الهواء داخل الأماكن المكيفة.
6. اختيار النواشر والجريلات باستخدام جداول معطيات الأداء.

الوقت المتوقع للتدريب:

6 ساعات دراسية.

الوحدة الثانية : نشر الهواء داخل الحيز المكيف

Space Air Distribution

1 - مقدمة (Introduction)

يكمن الهدف الأساسي من توزيع الهواء في تهيئة ظروف ملائمة تسبب الراحة لشاغلي المكان المكيف. يتم نشر الهواء داخل الحيز المكيف بواسطة مخارج للهواء موجودة داخل الغرف كما توجد أيضاً أجهزة تعمل على سحب الهواء من الأماكن المكيفة وإرجاعه إلى المناولة مرة أخرى. ويتطلب ذلك الفهم والاختيار الصحيحين لأنماط نشر الهواء وحركته داخل تلك الأماكن والتعرف على أجهزة نشر الهواء واستخداماتها المختلفة وطرق اختيارها وهذا ما سوف يتم التطرق إليه بالتفصيل في هذه الوحدة.

2 - تعريف:

المقصود بنشر الهواء داخل الأماكن المكيفة هو تغذية الهواء من خلال أماكن داخل الحيز يتم اختيارها بعناية بحيث يصل الهواء بدرجات حرارة ورطوبة وسرعة كافية تضمن وجود الهواء داخل تلك الأماكن. كذلك تعتبر عملية الخلط الجيد للهواء هامة للمساعدة في التخلص من الملوثات التي يمكن أن تتولد داخل الحيز ويجب أن يتم ذلك بدون حدوث تغييرات في ظروف التصميم للحيز مع التغير في متطلبات أحمال التبريد. التصميم الجيد لعملية نشر الهواء يجب أن يشمل اختيار أجهزة لنشر الهواء داخل الحيز تراعي مستوى الضوضاء وهبوط الضغط المسموح بهما.

3 - المفاهيم الأساسية لنشر الهواء:

3 ١ - التيار الهوائي: (Air Jets)

تتم عادة تغذية الهواء المكيف إلى مخارج الهواء بسرعات أكبر بكثير من السرعات المقبولة داخل الأماكن المراد تكييفها مما ينتج تيارا هوائيا. درجة حرارة الهواء المكيف يمكن أن تكون أكبر ، أقل أو تساوي درجة حرارة الحيز. التيار يضمن التوزيع الجيد للهواء داخل الحيز و يساعد على تمازج الهواء النقي مع الهواء الراجع مما يساعد على خفض درجة الهواء المخلوط قبل دخوله إلى الحيز المكيف.

3 2 - حركة الهواء داخل الغرفة: (Room Air Motion)

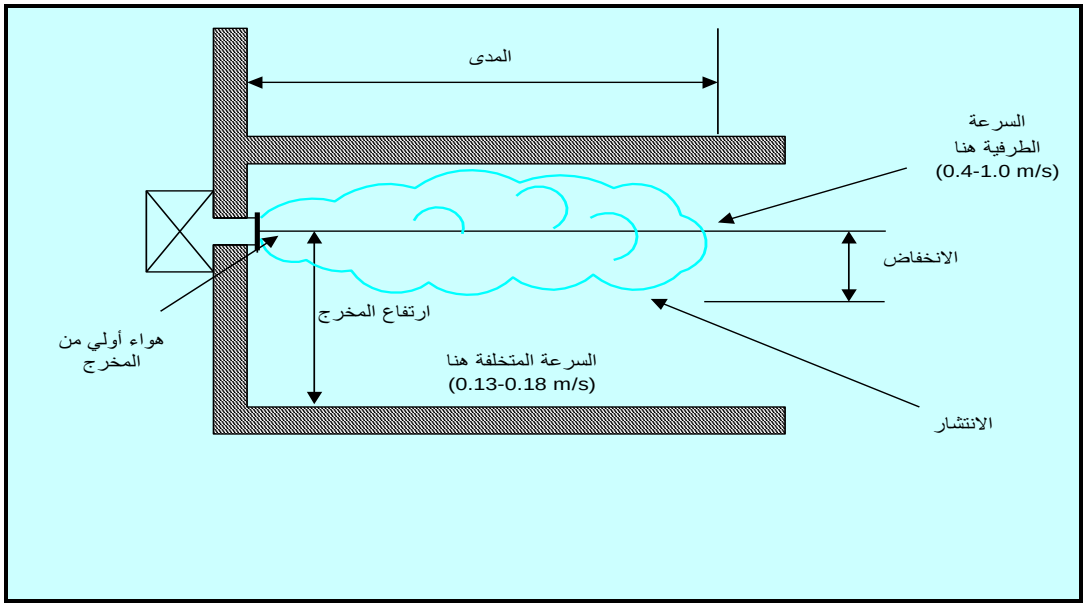
عند دخول الهواء المكيف إلى داخل الغرفة فإن تيار الهواء الذي تتم تغذيته لنشر الهواء يعمل على حجز بعض من هواء الغرفة الأمر الذي يتطلب إحلال ذلك الهواء بهواء آخر من الغرفة. يتحرك هواء الغرفة نحو مكان تغذية الهواء مما يجعل جميع الهواء داخل الغرفة في حالة حركة دائمة.

3 3 - اشتراطات الراحة في الحيز المكيف:

عندما تكون السرعة المتوسطة للهواء داخل الغرفة أقل من $\left(0.25\ {}^{m}/_{s}\right)$ فإن تأثيرات الطفو (Buoyancy Effects) تكون واضحة. بصورة عامة فإن معدل تغيير الهواء في الساعة (Air Changes Per Hour) (ACH) من (8-10) يكون كافياً لمنع الأجزاء التي يكون فيها الهواء ساكناً داخل الغرفة (أي سرعة أقل من $\left(0.08\ {}^{m}/_{s}\right)$). وعليه فإن المبدأ العام هو عدم تغذية الهواء بسرعة عالية من المخرج إلى الحيز المراد تكييفه.

4 - أنماط نشر الهواء: (Air Diffusion patterns)

تتطلب دراسة نشر الهواء داخل الغرفة الفهم الصحيح لحركة الهواء الذي تتم تغذيته للغرفة وكذلك معرفة المصطلحات المستخدمة كما هو موضح في الشكل (2- 1).



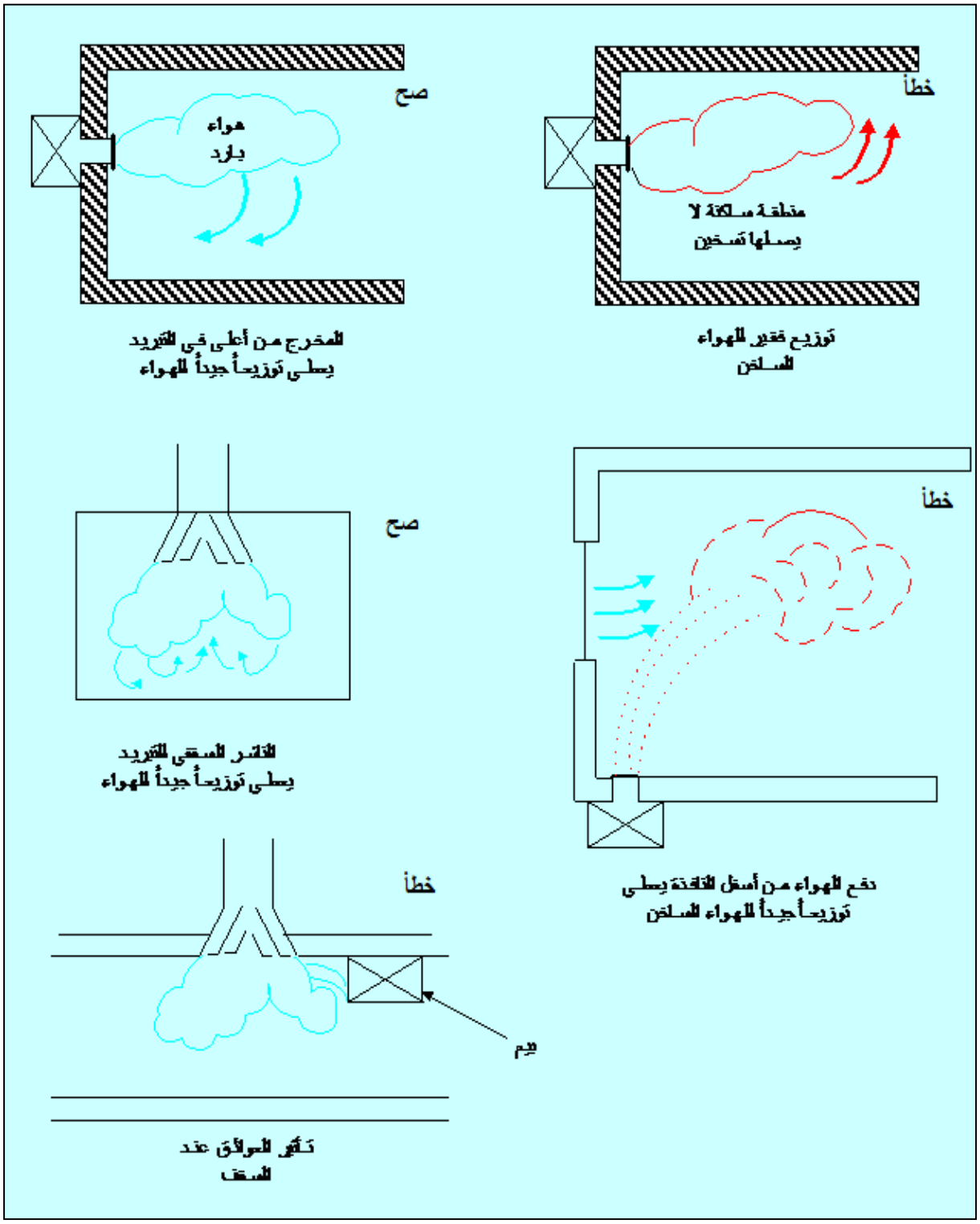
شكل (2- 1): عملية انتشار الهواء.

- المدى (Throw) : عبارة عن المسافة الأفقية التي يقطعها الهواء قبل أن يصل إلى سرعة صغيرة نسبيا (يطلق عليها السرعة الطرفية).
- السرعة الطرفية (Terminal velocity) : هي السرعة عند نهاية المدى .
- السرعة المتخلفة (Residual velocity): هي السرعة النهائية التي يصل بها الهواء للأشخاص .
- الانخفاض (Drop) : هو عبارة عن المسافة الرأسية التي ينخفض بها الهواء البارد عند نهاية المدى.
- تفاوت درجة الحرارة (Temperature differential): هو الفرق بين درجتي حرارة هواء الغرفة وهواء التغذية.
- الانتشار (Spread) : هو عبارة عن التباعد الأفقي لتيار الهواء.
- الموقع (Location) : يعتبر موقع جهاز توزيع الهواء في الغرفة ذا أهمية قصوى من أجل الحصول على توزيع جيد للهواء. الشكل (2- 2) يوضح النشر الجيد والفقير للهواء لبعض مواقع أجهزة نشر الهواء داخل الغرفة. عند توزيع هواء بارد فإن المخارج توضع دائما في الأسقف أو أعلى الجوانب للحوائط. وكذلك توضع أسفل الحواجز البارزة. الوضع البديل لهذه المخارج هو محيط المبنى حيث يتم تصريف الهواء رأسيا من أسفل النوافذ وفي هذه الحالة فإن وضع الهواء الراجع يعتبر ذا أهمية فيجب أن يكون على ارتفاع منخفض ومن داخل الغرفة لتفادي حدوث دائرة مقصرة. مخارج الهواء التي تستخدم في التدفئة يتم تركيبها حول المحيط وتقوم بتصريف الهواء رأسيا إلى أعلى (الشكل 2- 2).

5 -أنواع أجهزة تغذية الهواء: (Types of air supply devices)

توجد أربعة أنواع من أجهزة تغذية الهواء التي تستخدم في توزيع الهواء داخل الأماكن المكيفة بصورة جيدة والأنواع هي:

- الجريلات والحاكمات (Grilles & Registers).
- النواشر السقفية (Ceiling diffusers).
- النواشرالمشقوبة (Slot diffusers).
- أسقف التخزين (Plenum ceilings).



شكل (2- 2): النشر الجيد والخاطئ للهواء داخل الغرف

5 - 1 الجريلات والحاكمات : (Grilles & Registers)

هي عبارة عن أجهزة تتكون من إطار وقضبان متوازية ثابتة أو متحركة تعمل على التحكم في توزيع الهواء أي ضبط المدى والانتشار. يطلق على الجريلات التي تحتوي على خوانق تحكم مثبتة من الخلف حاكمات كما هو موضح في الشكل (2- 3).

(أ) : جريل (Grille)

(ب) : حاكم (Register)

شكل (2- 3): جريل وحاكم.

- **الاستخدامات:** Applications

في حالة التبريد : يفضل وضعها في أعلى الحائط الأمر الذي يساعد على خلط الهواء البارد مع هواء الغرفة بصورة جيدة (لاحظ أن كثافة الهواء تزيد بانخفاض درجة حرارته).

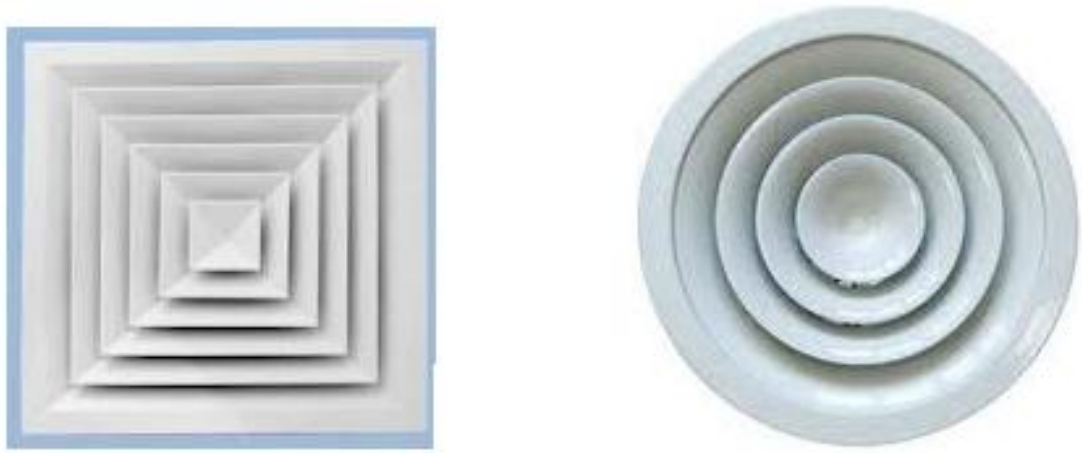
في حالة التدفئة: يتم وضعها أسفل الشبابيك في وضع محيطي حيث تقوم بتصريف الهواء الساخن رأسيا إلى أعلى مما يجعلها تناسب الأجواء الباردة بالإضافة إلى ميزة تكاليف الإنشاء القليلة نسبة لأن أعمال مجاري الهواء في الأرض تكون بسيطة وسهلة.

نادراً ما تستخدم الجريلات في الأسقف نسبة لمظهرها غير المقبول وعليه فإنها تستخدم في مجاري الهواء الراجع وتكون أسفل الحوائط.

5 - 2 النواشر السقفية: (Ceiling diffusers)

تحتوي عادة هذه الأجهزة على واجهة دائرية أو مربعة تغطي فتحة تغذية الهواء في السقف وهي تتكون من حلقات متداخلة تسمح بخروج الهواء في طبقات متعددة. يجب أن يتفق منظر النواشر السقفية مع تأثيث المبنى و معدات الإضاءة وأن توضع في مراكز المساحات المخصصة لها. عند وجود فرق كبير بين درجتي حرارة التغذية والغرفة فإنه تزداد خطورة دخول الهواء

للمكان المراد تكييفه بدرجة حرارة غير مناسبة وعليه فإن النواشر السقفية لما لها من نسبة حث عالية لهواء الغرفة تعمل على تقليل هذه المشكلة على عكس الجريلات. الشكل (2-4) يوضح نواشر سقفية دائرية ومربعة.



(أ): ناشر دائري (Round diffuser)　　(ب): ناشر مربع (Square diffuser)

شكل (2- 4) :نواشر سقفية دائرية ومربعة.

- **الاستخدامات:** (Applications)

يتم تركيبها دائما في الأسقف. يتم تصريف الهواء أفقيا إذا استخدمت في التبريد. وتستخدم النواشر السقفية الدائرية أو المربعة لها فتحات متساوية لتغطية الغرف المربعة.

تستخدم بعض أنواع نواشر السقف في التدفئة بضبط الهواء ليتم تصريفه رأسيا إلى أسفل وبسرعة عالية وهذا أكثر شيوعا في التطبيقات الصناعية.

5- 3- النواشر المشقوبة: (Slot diffusers)

هي عبارة عن خوص طويلة بينها فتحة أو فتحات طويلة وضيقة حسب عدد الخوص. انظر الشكل(2- 5) لناشر مشقوب مثبت علي سقف مستعار.

- **الاستخدامات:** (Applications)

تكون دائما متوفرة في أشكال تسمح باستخدامها في الأسقف، أو في الجوانب، بالإضافة إلى أنها أكثر استخداماً في التطبيقات المحيطية، حيث تقوم بتصريف الهواء رأسيا من العتبة أسفل النوافذ ويعزى ذلك لاستخدام نوافذ قصيرة وجوانب عريضة من الزجاج في العديد من المباني الحديثة.

شكل (2- 5): ناشر مشقوب (Slot

5- 4- أسقف التخزين: (Plenum ceilings)

تعمل الأسقف المعلقة التي توجد بها فتحات أو ثقوب خلال كل السقف تقريبا كمخارج لتغذية الهواء. يستخدم الحيز فوق السقف كوعاء أو خزان كبير للهواء يتم من خلاله توزيع الهواء. بهذه الطريقة يمكن توزيع الهواء بصورة منتظمة للمكان المراد تكييفه. كما يمكن استخدام الأسقف المبردة للهواء الراجع (Return plenum ceilings) عملية تصميم وموازنة أنظمة الأسقف التي تستخدم كخزان للهواء (Plenum ceilings) تتطلب جهة متخصصة للقيام بها . الشكل (2- 6) يمثل سقف مبرد.

شكل (2- 6): سقف تخزين (Plenum).

- **الاستخدامات:** (Applications)

تستخدم أسقف التخزين في التطبيقات التي تحتاج إلى كميات كبيرة من الهواء داخل الحيز المراد تكييفه مع درجات حرارة منخفضة وحركة قليلة للهواء أي تغذية الهواء بسرعة منخفضة وعليه فإنه يلزم الحيطة للحصول على حركة كافية للهواء إذا زادت سرعة الهواء الداخل عن $(0.08\ ^{m}/_{s})$.

6 -اختيار أجهزة هواء التغذية: (Selection of Supply Devices)

يعتمد اختيار مخارج الهواء لأي مشروع على الآتي:

6- 1- متطلبات معمارية: (Architectural requirements)

يقوم المهندس المعماري باختيار نوع المخارج وتحديد أماكن تركيبها لتناسب المظهر المطلوب للمكان.

6- 2- متطلبات إنشائية : (Structural requirements)

التصميم الإنشائي للحوائط والأسقف والأرضيات يؤثر في وضع أعمال مجاري الهواء وبالتالي مخارج الهواء وعليه يجب الرجوع للمهندس الإنشائي في هذا الصدد.

تعتبر المتطلبات سالفة الذكر هي الأساس لاختيار أنظمة توزيع الهواء داخل الأماكن المراد تكييفها بل وأهم من متطلبات الراحة.

يفضل عند الحاجة لاختيار نظام لتوزيع الهواء لتلبية متطلبات الراحة اختيار النوع المحيطي من أجهزة نشر الهواء (Perimeter Type) مع تصريف رأسي للهواء بالنسبة للأماكن الخارجية في حالة التدفئة كما أن أداءها مرضي في حالة التبريد عندما يكون المدى لها (Throw) كافياً.وعندما تكون متطلبات التدفئة ليست بالحرجة فإنه يتم اختيار النوع الحائطي العلوي (Wall Outlet Type) (high side) مع تصريف أفقي ناحية الحائط الخارجي حيث إن أداءها يكون جيداً في حالة التبريد ومرضياً في حالة التدفئة. وعندما تكون متطلبات التدفئة قليلة فإنه يلزم اختيار النواشر السقفية أو العلوية الحائطية (Overhead Ceiling Outlet or High Sidewall Diffusers) وذلك نسبة لأن التبريد هو الأساس.

أما الأماكن الداخلية للتطبيقات التجارية فيتم تزويدها عادة بأجهزة علوية لتغذية الهواء وذلك لنفس السبب السابق. في بعض الحالات يمكن استخدام نظام مزدوج يضم الأنواع المحيطية والأنواع السقفية للنواشر. وغالبا يجب اختيار وتركيب أجهزة نشر الهواء داخل الأماكن المكيفة بعناية تامة وذلك بالرغم من أن الشركات المصنعة لها تزود المصممين بمواصفات وبيانات كافية لمعطيات أداء تلك الأجهزة.

7 **-أجهزة الهواء الراجع**: (Return air devices)

تستخدم جميع أجهزة تغذية الهواء (المخارج Outlets) التي سبق ذكرها مع الهواء الراجع. الجريلات هي الأكثر استخداماً نسبة لرخص ثمنها ويمكن تركيبها في أي مكان داخل الغرفة ولكن بالرغم من ذلك من المستحسن وضع أجهزة الهواء الراجع بعيداً عن المخارج مع التأكد من احتمال حدوث دائرة مقصرة للهواء . إذا كانت أجهزة الراجع في الممرات أو في أماكن متجاورة فيجب تركيب جريلات انتقال أو فتحات توضع في الفواصل أو الأبواب أو يمكن فتح الأبواب من أسفل.

8 **-اختيار أجهزة الهواء الراجع:** (Selection of Return Devices)

يكون اختيار أجهزة الهواء الراجع عادة سهلاً وبسيطاً. الجدول (2- 1) يوضح سرعات الوجه الداخلة المسموح بها للهواء الراجع والتي تعطي مستويات ضوضاء مقبولة. سرعة الوجه ترمز للسرعة التي يتم حسابها باستخدام الأبعاد الكلية للجريل حيث إن السرعة الحقيقة تكون عادة أكبر من سرعة الوجه نتيجة لوجود قضبان الجريل.

م	الموقع	السرعة (m/s)
.1	أعلى الحوائط	4
.2	حول تواجد الأشخاص بعيداً عن المقاعد	3-4
.3	حول تواجد الأشخاص بالقرب من المقاعد	2-3
.4	الأبواب أو موجهات الحوائط	1-2
.5	أسفل الأبواب	1-2

جدول (2- 1): سرعات الوجه لمدخل الهواء الراجع.

م	التطبيق	مستوى الصوت NC (db)
.1	استوديوهات البث	20-25
.2	قاعات الدراسة	30-40
.3	الفنادق والشقق المفروشة	30-40
.4	قاعات المجالس	30-40
.5	المنازل (أماكن النوم)	25-35
.6	قاعات المؤتمرات	25-35
.7	المستشفيات	25-35
.8	المساجد	20-30
.9	قاعات المحاكم	30-40
.10	المكتبات	30-40
.11	المكاتب الخاصة	30-40
.12	المكاتب العمومية	35-45
.13	المطاعم	35-45
.14	المصانع	40-65

جدول (2- 2): مستويات الصوت المفضلة في بعض التطبيقات.

خطوات الاختيار:

- قم بتحديد أبعاد الحيز.
- قم بتحديد معدل سريان دخول الهواء للحيز.
- قم بتحديد عدد وأماكن تركيب النواشر. ويعتمد هذا الاختيار على عدة العوامل هي:
  - كمية الهواء.
  - التكلفة.
  - المتطلبات المعمارية.
- قم بتحديد المدى (Throw) مستعيناً بأبعاد الغرفة.

- قم بتحديد مقاس الناشر مستعيناً بالجداول الخاصة بنوع الناشر من قبل الشركات المصنعة.
- التأكد من بقية المواصفات و الخواص الهامة التي تمتاز بها النواشر كمستوى الصوت كما هو موضح في الجدول (1- 2) والضغط الاستاتيكي ...الخ.

أمثلة :

مثال (1) :

المطلوب اختيار ناشر سقف دائري لمكتب عمومي أبعاده $(15 \times 9\ m)$ له معدل سريان $\left(1500\ {}^{L}/_{S}\right)$. إذا كان الحمل الحراري نتيجة للإضاءة، الناس وانتقال الحرارة بالتسريب متجانس. ارتفاع السقف $(3\ m)$.

الحل :

من جدول مستويات الصوت للمكتب العمومي نجد أن $NC = 40\ db$

نقسم المكتب إلى أربعة أقسام أبعاد كل منها $(7.5 \times 4.5\ m)$.

معدل السريان لكل حيز (لتر/الثانية) $L/S = {}^{1500}/_{4} = 375$

مدى الناشر (أكبر نصف قطر للانتشار من منتصف الغرفة إلى الحائط)

$$= 3.75\ m \quad T = {}^{7.5}/_{2}$$

من جدول معطيات أداء النواشر الدائرية نختار الناشر مقاس $(30\ cm)$ ومواصفاته هي:

$$L/S = 392 \ , \quad T = 5.2\ m \ , \quad SP = 25\ Pa \ , \quad NC = 33\ db$$

مثال (2):

مكتب خصوصي أبعاده $(6 \times 4.5\ m)$ يتم تكييفه باستخدام ناشر حائطي مرتفع أو أكثر مركبة على الحائط $6\ m$. ارتفاع السقف $(3.4\ m)$ ، حمل التبريد المحسوس ينتج عنه معدل تغذية هواء بمقدار $\left(150\ {}^{L}/_{S}\right)$ عند فرق درجة حرارة $9^{\circ}C$. المطلوب اختيار الناشر الحائطي لهذا الاستخدام.

الحل :

من جدول مستويات الصوت للمكتب الخصوصي نجد أن $NC = 35\ db$,

مدى الناشر (عرض الغرفة) $= T\ 4.5\ m$

من جدول معطيات النواشر الحائطية عند $\left(150\ {}^{L}/_{S}\right)$ والمدى المذكور يمكن اختيار الناشر مقاس $(30 \times 10\ cm)$ ومواصفاته هي :

$$NC = 32\ db \quad , \quad \theta = {}^{\circ}45 \quad , \quad T = 4.9\ m \quad , \quad {}^{L}/_{S} = 155$$

مثال (3):

جريل تم وضعه في أعلى جانب الحائط لغرفة يطرد $\left(0.7\ {}^{m^3}/_{s}\right)$ من الهواء للخارج. احسب مساحة الوجه للجريل.

الحل:

باستخدام الجدول أعلاه نوجد سرعة الوجه للهواء الداخل ${}^{4\ m}/_{s}$

وعليه فإن المساحة المطلوبة لوجه الجريل

$$\text{Face area} = {}^{0.7}/_{4} = 0.18\ m^2$$

كما يمكن استخدام الجدول رقم (501) لمعطيات أداء جريلات الراجع نختار المقاس :

$90 \times 20\ cm$ أو $600 \times 30\ cm$ والذي يطرد ${}^{L}/_{S}$ 720 من الهواء مع سرعة للوجه ${}^{4\ m}/_{s}$ ومستوى ضوضاء يبلغ

$NC = 43\ db$

المقاس (cm)	سرعة المخرج (m/s)	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	8.0	9.0	10.0
12.5	معدل السريان(L/s)	47	55	60	67	75	82	87	95	110	122	135
	الضغط الاستاتيكي(Pa)	17.5	22.5	30	37.5	45	52.5	62.5	72.5	92.5	117.5	145
	قطر الانتشار نصف(m)	1.5	1.5	1.5	1.8	1.8	2.1	2.1	2.4	3.1	3.7	4.4
	مستوى الصوت(dB)	18	22	25	28	31	34	36	37	41	44	46
15	معدل السريان(L/s)	67	77	87	97	107	117	127	137	157	177	195
	الضغط الاستاتيكي(Pa)	17.5	22.5	27.5	35	40	50	60	67.5	90	112.5	140
	قطر الانتشار نصف(m)	1.5	1.8	1.8	2.1	2.1	2.4	2.7	3.1	3.7	4.4	4.6
	مستوى الصوت(dB)	18	22	26	29	31	34	36	37	41	44	46
20	معدل السريان(L/s)	122	140	157	175	192	210	227	245	280	315	350
	الضغط الاستاتيكي(Pa)	15	20	25	32.5	40	47.5	55	62.5	82.5	105	130
	قطر الانتشار نصف(m)	2.1	2.4	2.7	3.1	3.4	3.7	3.7	4.0	4.6	5.5	6.1
	مستوى الصوت(dB)	19	23	29	30	33	35	37	39	43	46	49
25	معدل السريان(L/s)	190	217	245	272	300	327	355	382	435	490	545
	الضغط الاستاتيكي(Pa)	12.5	17.5	22.5	27.5	32.5	40	47.5	55	70	90	110
	قطر الانتشار نصف(m)	3.4	3.7	4.0	4.3	4.6	4.6	5.2	5.5	6.1	6.7	7.9
	مستوى الصوت(dB)	21	25	29	32	34	37	39	41	44	48	51
30	معدل السريان(L/s)	275	315	352	392	432	470	510	550	630	705	785
	الضغط الاستاتيكي(Pa)	12.5	15	20	25	30	35	42.5	47.5	62.5	80	97.5
	قطر الانتشار نصف(m)	4.3	4.6	4.9	5.2	5.5	5.8	6.1	6.4	7.6	8.2	9.1
	مستوى الصوت(dB)	23	26	30	33	36	38	41	43	47	50	53
45	معدل السريان(L/s)	620	705	795	885	970	1060	1150	1235	1415	1590	1765
	الضغط الاستاتيكي(Pa)	7.5	10	12.5	15	20	22.5	27.5	30	40	50	62.5
	قطر الانتشار نصف(m)	6.7	7.6	7.9	8.5	9.1	9.8	10.1	10.4	11.6	13.1	14
	مستوى الصوت(dB)	26	30	32	35	38	41	43	45	49	52	54
60	معدل السريان(L/s)	1100	1255	1415	1570	1730	1885	2040	2200	2515	2830	3140
	الضغط الاستاتيكي(Pa)	10	15	17.5	22.5	25	30	37.5	42.5	55	70	87.5
	قطر الانتشار نصف(m)	9.2	10	10.6	11.3	11.6	12.2	12.8	13.7	15.5	17.4	19.2
	مستوى الصوت(dB)	28	32	35	38	40	43	45	47	51	55	58

جدول (2- 3): معطيات أداء النواشر السقفية الدائرية

المقاس (cm)	سرعة الهواء (m/s)		1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6
	الضغط الكلي (Pa)	0^o	2.5	4.25	7.0	9.5	13.0	17.25	26.75	39.0
		22.5^o	2.75	4.75	7.75	10.75	14.5	19.5	30.0	43.75
		45^o	4.5	7.25	11.75	16.0	22.0	29.25	45.25	65.75
20×10 17.5×12.5 15×15	L/s		28	35	45	55	62	72	90	107
	NC (dB)		-	-	-	10	15	19	25	31
	Throw (m)	0^o	4.0	4.6	5.2	5.8	6.1	6.7	7.3	7.9
		22.5^o	3.1	3.7	4.3	4.6	4.9	5.5	5.8	6.4
		45^o	2.1	2.4	2.7	3.1	3.1	3.4	3.7	4.0
25×10 20×12.5 17.5×15	L/s		32	45	55	65	77	87	110	132
	NC (db)		-							
	Throw (m)	0^o	4.3	5.2	5.8	6.4	7.0	7.3	8.2	8.8
		22.5^o	3.4	4.3	4.6	5.2	5.5	5.8	6.7	7.0
		45^o	2.1	2.7	3.1	3.4	3.7	4.0	4.6	4.9
30×10 25×12.5 20×15	L/s		40	52	65	77	90	105	130	155
	NC (dB)		-	-	-	11	16	20	26	32
	Throw (m)	0^o	4.9	5.8	6.4	7.0	7.3	7.9	8.8	9.8
		22.5^o	4.0	4.6	5.2	5.5	5.8	6.4	7.0	7.9
		45^o	2.4	2.7	3.1	3.4	3.7	4.0	4.6	4.9
40×10 30×12.5 25×15	L/s		50	67	85	102	120	135	170	205
	NC (dB)		-	-	-	12	17	21	27	33
	Throw (m)	0^o	5.5	6.4	7.3	7.9	8.5	9.1	10.1	11.3
		22.5^o	4.3	5.2	5.8	6.4	6.7	7.3	7.9	9.1
		45^o	2.7	3.4	3.4	4.0	4.3	4.6	5.2	5.5
45×10 35×12.5 30×15	L/s		57	77	97	117	137	155	195	235
	NC (dB)		-	-	-	13	18	22	28	34
	Throw (m)	0^o	5.8	7.0	7.6	8.5	9.1	9.8	11.0	12.2
		22.5^o	4.6	5.5	6.1	6.7	7.3	7.9	8.8	9.8
		45^o	3.1	3.4	4.0	4.3	4.6	4.9	5.5	6.1

المدى على أساس (0.25 m/s) سرعة طرفية .

جدول (2- 4): معطيات أداء النواشر الحائطية العلوية المحيطية

المقاس (cm)			السرعة (m/s)	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
			الضغط الاستاتيكي السالب (Pa)	2.75	8.25	13.75	22.0	31.5	42.5	55.0
40×10 30×12.5	25×15		L/s NC (dB)	35 -	50 -	67 13	85 20	102 25	120 30	135 33
45×10 35×12.5	30×15 20×20		L/s NC (dB)	40 -	57 -	77 14	97 21	117 26	137 31	155 34
50×10 40×12.5	35×15 25×20		L/s NC (dB)	45 -	70 -	92 15	115 22	137 27	160 32	165 35
60×10 45×12.5	40×15		L/s NC (dB)	52 -	77 -	105 16	130 23	155 28	182 33	207 36
70×10 50×12.5	45×15 30×20	25×25	L/s NC (dB)	60 -	90 -	120 17	150 24	180 29	210 34	240 37
75×10 60×12.5	50×15 35×20	30×25	L/s NC (dB)	70 -	102 -	137 17	172 24	207 29	242 34	275 37
90×10 70×12.5	55×15 40×20	35×25	L/s NC (dB)	80 -	122 10	162 18	202 25	242 30	282 35	325 38
110×10 75×12.5	65×15 42×20	40×25 30×30	L/s NC (dB)	90 -	135 11	180 19	225 26	270 31	315 36	360 39
120×10 90×12.5	75×15 45×25	35×30	L/s NC (dB)	107 -	160 12	215 20	262 27	320 32	375 37	427 40
85×15 60×20	50×25 40×30	35×35	L/s NC (dB)	117 -	177 13	235 21	295 28	355 33	412 38	472 41
150×10 120×12.5	90×15 45×30	40×35	L/s NC (dB)	135 -	200 13	267 21	335 28	402 33	470 38	535 41
180×15 75×20	60×25 55×30	45×35 40×40	L/s NC (dB)	160 -	240 14	320 22	400 29	480 34	560 39	640 42
150×12.5 120×15	90×20 75×25	60×30 50×35	L/s NC (dB)	180 -	270 15	360 23	450 30	540 35	630 40	720 43
180×12.5 150×15	100×20 90×25	75×30 60×35	L/s NC (dB)	207 -	312 16	415 24	520 31	625 36	730 41	830 44
180×15 120×20	80×30 90×25	60×40 50×45	L/s NC (dB)	245 -	367 17	490 25	610 32	735 37	860 42	980 45
90×30 75×35	65×40 60×45	55×50	L/s NC (dB)	277 -	417 18	555 26	695 33	835 38	975 43	1110 46
150×20 120×25	100×30 90×35	75×40 65×45	L/s NC (dB)	310 -	467 19	620 27	780 34	935 39	1090 44	1245 47
180×20 150×25	120×30 90×40	75×45 60×60	L/s NC (dB)	360 -	540 20	720 28	900 35	1085 40	1265 45	1445 48

مستويات الصوت (NC) تم تحديدها على أساس امتصاص الغرفة للصوت بمقدار 8 dB

جدول (2- 5): معطيات أداء جريلات الراجع

تمارين:

1 - في المثالين (1)، (2) قم باختيار جريلات الراجع للتطبيقات المذكورة .

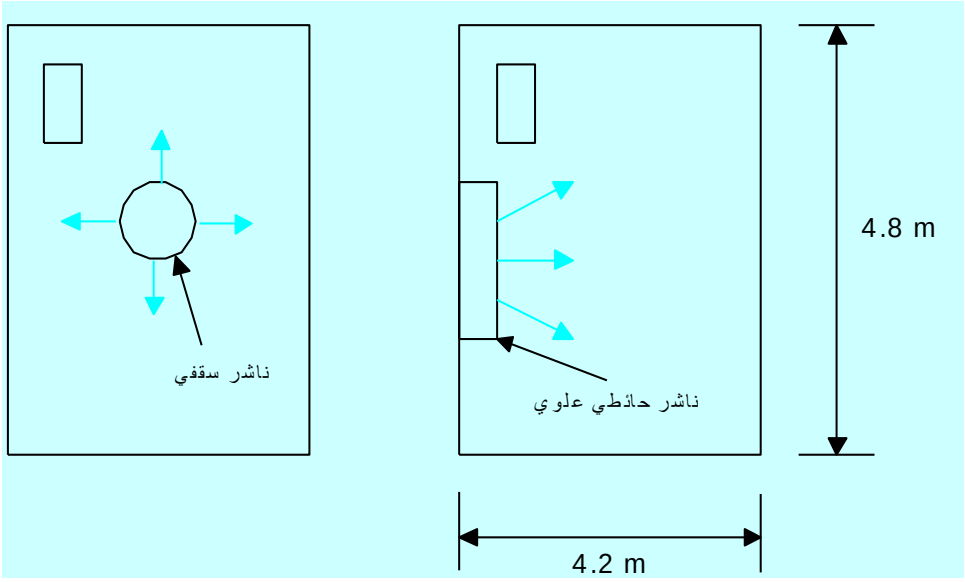
2 - المطلوب اختيار ناشر سقف دائري يعطي $\left(1.2\ {}^{m^3}\!/_{s}\right)$ من الهواء في غرفة دراسة أبعادها $(10 \times 10\ m)$. ما مواصفات جريل الراجع؟

3 - اقترح وضعاً مناسباً لثلاثة نواشر داخل إحدى المكتبات أبعادها $(25 \times 25\ m)$ وتحتاج إلى $\left(4000\ {}^{L}\!/_{S}\right)$ من الهواء ثم اختر مواصفات الناشر .

4 - جريل راجع تم وضعه في أسفل جانب الحائط لغرفة ويطرد $\left(1400\ {}^{L}\!/_{S}\right)$

كم تبلغ مساحة وجه الجريل ؟ وحدد ابعاده؟

5- في الغرفة الموضحة في الشكل (2- 7) يتم توزيع معدل هواء بقيمة $\left(150\ {}^{L}\!/_{S}\right)$. المطلوب اختيار نظام ناشر سقفي دائري ونظام حائطي علوي مع جريل راجع بنسبة 100٪. للعلم فالغرفة تمثل غرفة من شقة مفروشة



شكل (2- 7)

الوحدة الثالثة

أنظمة توزيع الهواء

الوحدة الثالثة : أنظمة توزيع الهواء

Air Distribution Systems

الهدف العام :

الإلمام بالتصنيفات المختلفة لأنظمة توزيع الهواء.

الأهداف التفصيلية : عندما تكمل هذه الوحدة تكون قادراً على:

1. معرفة التصنيفات المختلفة لأنظمة الهواء حسب موقع المجرى الهوائي.
2. معرفة التصنيفات المختلفة لأنظمة الهواء حسب سرعة الهواء المنقول في المجاري الهوائية.
3. التمييز بين المجاري الهوائية من ناحية الشكل ومواد التصنيع.

الوقت المتوقع للتدريب :

4 ساعات.

الوحدة الثالثة : أنظمة توزيع الهواء
Air Distribution Systems

1 - مقدمة : (Introduction)

يشتمل نظام توزيع الهواء داخل المبنى على وحدة لمناولة الهواء بها مروحة تعمل على دفع الهواء خلال مجاري أو مسالك للهواء ملحق بها مرافق (أكواع)، انحناءات، خوافض، خوانق ...الخ . تنقل الهواء إلى أجزاء المبنى المختلفة حيث توجد المخارج التي تم التعرض لها في الوحدة الأولى لتقوم بنشره داخل الحيز المراد تكييفه.

2 - تصنيفات أنظمة توزيع الهواء (Air distribution systems types)

يتم تصنيف أنظمة توزيع الهواء داخل المبنى بناءً على موقع المجرى فنجد الأنظمة المحيطة والأنظمة الفوقية، أو بناءً على معدل سرعة الهواء في المجاري ونجد الأنظمة ذات السرعة المنخفضة والأنظمة ذات السرعة العالية.

2- 1- أنظمة مجاري محيطة: (Perimeter loop systems)

في هذه الأنظمة تثبت مخارج الهواء حول محيط المبنى وتتصل بوحدة مناولة الهواء بواسطة مسالك تغذية. تكون تغذية الهواء قرب أو عند أرضية المبنى خلال جريلات أرضية أو حائطية ، وتفضل هذه الأنظمة في المناخ البارد حيث تكون التدفئة هي الغالبة على مدار العام.

2- 2- أنظمة مجاري فوقية: (Overhead ducts systems)

في هذه الأنظمة يتم نقل الهواء المكيف خلال مجاري هواء علوية تمتد إلى مخارج سقفية مثبتته على الأسقف المستعارة أو جداريه علوية وتفضل هذه الأنظمة في المناطق ذات المناخ الحار حيث يكون تبريد الهواء هو الغالب على مدار العام.

2- 3- طرق تمديد مجاري توزيع الهواء: (Air duct systems)

لكل من مجاري الهواء المحيطة والفوقية يمكن تمديد المسالك التي تربط وحدة مناولة الهواء بفتحات التغذية (النواشر) حسب أحد الأنظمة التالية:

- نظام الجذع والفروع.

- النظام الشعاعي.

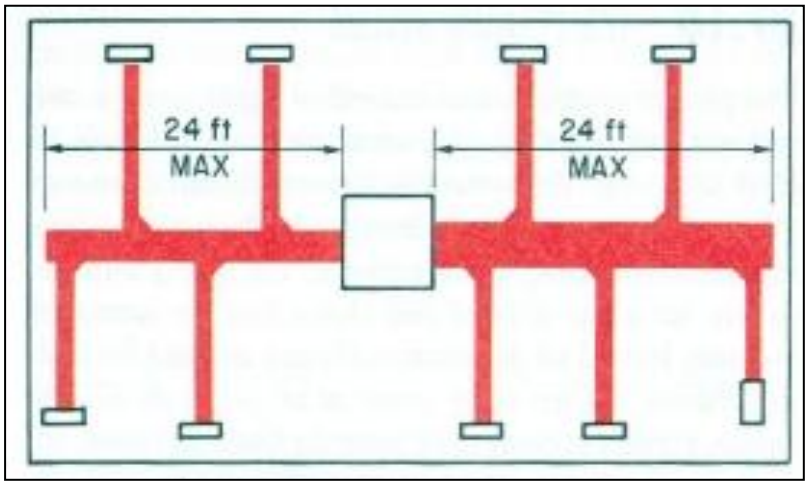
(أ) نظام الجذع والفروع: (Trunk and Branches' system).

يسمى هذا النظام أيضا نظام المسلك الرئيس حيث يتكون من مجرى رئيس (Trunk) يكون مرتبط مع وحدة مناولة الهواء ويقوم بإمداد الفروع المتصلة به (Branches). يتميز هذا النظام ببساطة الشكل وسهولة التصميم وعملية الاتزان.

يمكن تقسيم هذا النظام إلى نظامين:

- **نظام مجمع متفرع** (Extended plenum system).

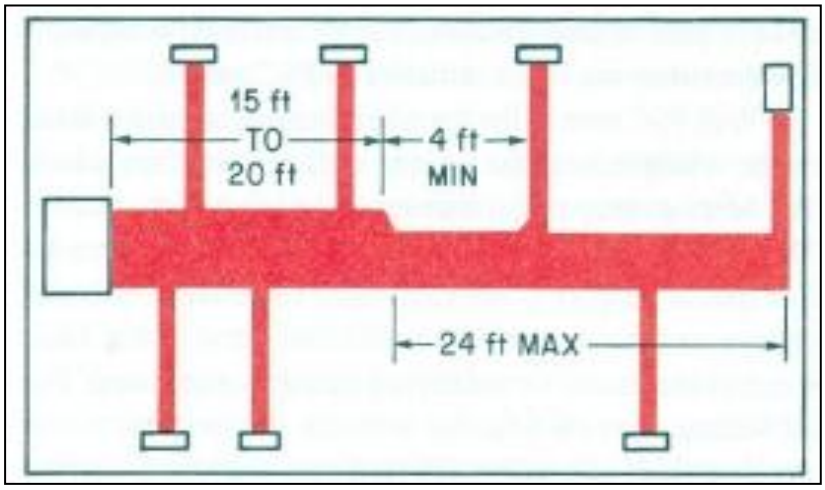
يكون المجرى الرئيس ذو مقاس ثابت على طول امتداده ويجب أن لا يتجاوز طوله 24 قدم بسبب ضعف التغذية الناتج عن انخفاض سرعة الهواء تدريجيا كما هو موضح في الشكل (3- 1).



الشكل 3-1: نظام توزيع هواء مجمع متفرع.

- **نظام مجمع انتقالي متفرع** (Reducing extended plenum system)

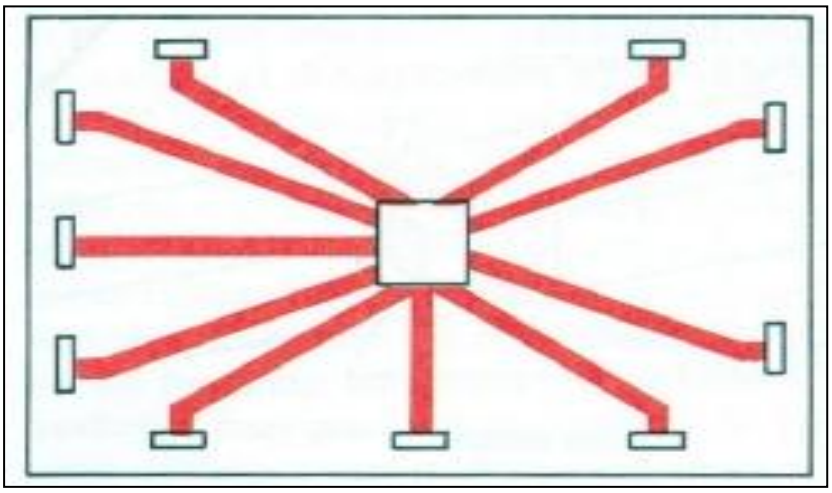
فى هذا النظام يجب أن نأخذ في التصميم أن المجرى الرئيس يقل حجمه بعد كل فرع نتيجة انخفاض معدل سريان الهواء. الشكل (3- 2) يوضح التقليل في حجم المجرى بعد انخفاض كمية الهواء بعد عدة تفرعات.



الشكل 3-2: نظام توزيع هواء مجمع انتقالي متفرع.

(ب) نظام المجاري الشعاعي: (Radial ducts system)

يتميزهذا النظام بأن الفروع أو مجاري التغذية تأخذ مباشرة من مناولة الهواء وتتصل مباشرة بالمخارج (النواشر أو الجريلات) في كل الاتجاهات مما يمكننا من المحافظة على سرعة الهواء. يستخدم هذا النظام في المخازن لضمان حسن توزيع الهواء. الشكل (3-3) يمثل مثال لتوزيع هواء التغذية بنظام المجاري الشعاعي لحيز مكيف.



الشكل 3-3: نظام توزيع هواء شعاعي.

2- 4- أنظمة ذات سرعات منخفضة: (Low velocity duct systems).

تكون السرعات عند التغذية في هذه الأنظمة كالتالي :

- التطبيقات التجارية: السرعات تتراوح بين $(6 - 11\ ^{m}/_{s})$
- التطبيقات الصناعية: السرعات تتراوح بين $(10 - 12\ ^{m}/_{s})$

تتميز هذه الأنظمة بهدوئها وانخفاض تكلفة تشغيلها.

2- 5- أنظمة ذات سرعات عالية: (High velocity duct systems).

تكون معدلات السريان في هذه الأنظمة مرتفعة والحيز المسموح به للمجاري الهوائية محدود فيتم تخفيض أبعاد المجاري وبالتالي ترتفع سرعة الهواء داخل مجرى التغذية وتستخدم السرعات حسب التطبيقات كالتالي :

- التطبيقات التجارية: السرعات تكون $(> 12\ ^{m}/_{s})$
- التطبيقات الصناعية: السرعات تتراوح بين $(12 - 25\ ^{m}/_{s})$

تتطلب هذه الأنظمة تركيب أجهزة امتصاص للصوت مباشرة بعد مروحة التغذية وكذلك صناديق طرفية متصلة عند المخارج وذلك لخفض السرعة عند خروج الهواء.

ويتم عادة تصميم أنظمة الهواء الراجع بناء على سرعة واحدة فقط وذلك على النحو التالي:

- التطبيقات التجارية: سرعات تتراوح بين $(7 - 9\ ^{m}/_{s})$ حسب التطبيق.
- التطبيقات الصناعية: سرعات تتراوح بين $(9 - 11\ ^{m}/_{s})$ حسب التطبيق.

3 - أنواع مجاري الهواء (Air ducts types)

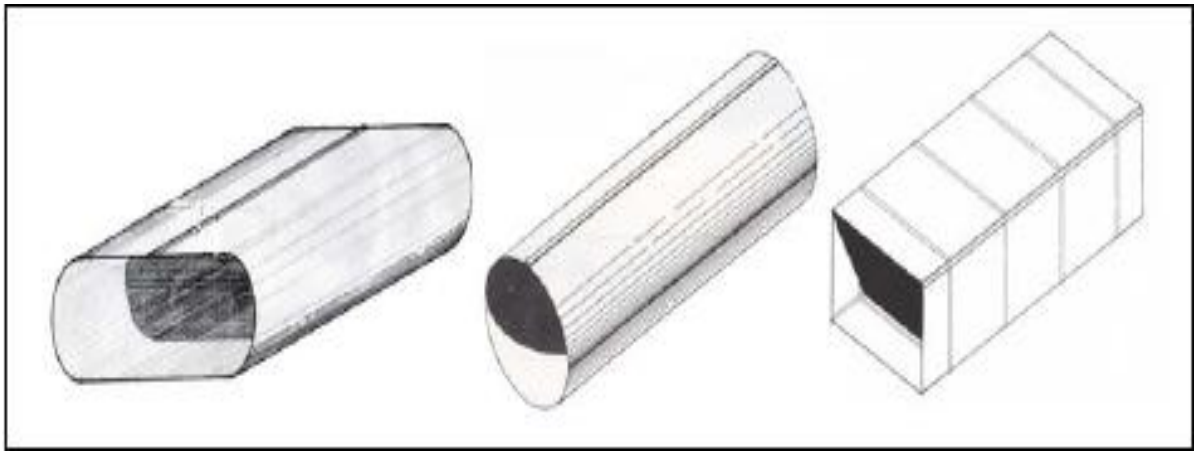
تكون مجاري الهواء إما دائرية المقطع أو مستطيلة المقطع أو بيضاوية الشكل (الشكل 3-4)، وتستخدم مجاري الهواء لنقل هواء التغذية أو الهواء الراجع، وأيضا الهواء الخارجي والهواء العادم.

يعتمد اختيار المواد التي تصنع منها مجاري الهواء على المكان المتاح و التكلفة ومستوى الصوت. يتم استخدام العديد من المواد في تصنيع مجاري الهواء ويعتبر الصاج المجلفن الأكثر استخداما مقارنة بالألمنيوم والليف الزجاجي.

3 - 1 مجاري الهواء المصنعة من الألواح المعدنية (Metallic sheets air ducts) :

يتم تصنيع المجاري الهوائية من ألواح الصاج المجلفن (Galvanized steel sheets) نظراً لصلابتها وسهولة تشكيلها ورخص ثمنها ، و يتم ربطها بواسطة الدسر(Seams) ووصلات الربط (Duct connectors) بأشكال مختلفة عند تغيير الاتجاه أو الأبعاد أو الشكل.

يمكن أيضا تصنيع المجاري الهوائية من الألمنيوم ويتم تجميعها بنفس أنواع الدسر المستخدمة مع الصاج المجلفن إلا أن عدم صلابة الاليمنيوم وتكلفته المرتفعة يحدان من استخدامه.



الشكل 3-4: أنواع مجاري الهواء حسب المقطع.

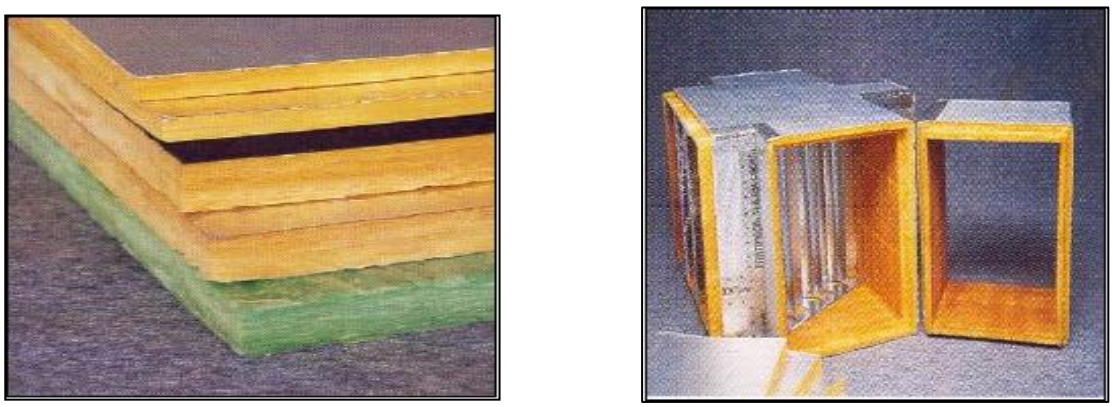
السمك (mm)	قطر المجرى (mm)		القياس
	دائري	مستطيل	المعيار (Gage)
0.6	اقل من 100	اقل من 300	26
0.7	100-200	300-750	24
0.9	200-600	750-1500	22
1.0	600-1200	1500-2300	20
1.3	اكبر من 1200	اكبر من 2300	18

جدول (3- 1): سمك الصاج حسب أبعاد المجري.

يتوفر الصاج المجلفن الذي يستخدم في تصنيع المجاري الهوائية بمقاسات متعددة حسب السمك. يتم إختيار السمك المناسب أو المعيار (gage) للحديد المجلفن حسب أبعاد مقطع المجرى وطوله ومكان استخدامه. الجدول (3- 1) يبين السمك المناسب للصاج المجلفن حسب القطر للمجرى الدائري أو الأبعاد للمجاري ذات المقطع المستطيل:

3 2 - مجاري الهواء المصنعة من الليف الزجاجي (Fiber glass air ducts):

تستخدم المجاري المصنوعة من الليف الزجاجي لامتصاص الضوضاء الناتجة عن سرعة الهواء في المجرى، وتساعد على العزل الحراري للمجرى، ويتوفر الليف الزجاجي في شكل ألواح قابلة للتصنيع ومجاري دائرية جاهزة الصنع. عادة ما يكون اللوح أو المجرى مغطى بطبقة من الألمنيوم المقوى بألياف للوقاية من تسرب بخار الماء، لما له من تأثير سلبي على المجرى و يكون سمك الألواح في حدود (25 مم). الشكل (3-5) يوضح الألواح المستخدمة وبعض قطع المجاري المصنعة من الليف الزجاجي.



الشكل 3-5: مجاري وألواح من الليف الزجاجي.

3 3 - مجاري الهواء المرنة (Flexible air ducts):

(أ) المجاري المعدنية المرنة (Flexible metal ducts) :

تتكون من طبقة داخلية ناعمة من البوليستر ولولب مجلفن وغلاف خارجي مقوى من ورق للألمنيوم ، وتمتاز هذه المجاري بمرونتها مما يسهل تمريرها في الأماكن الضيقة، الشكل (3-6).

الشكل (3-6): مجري هواء مرن من الاليمنيوم.

(ب) المجاري الهوائية من النسيج المقوى (Textile air ducts**):**

تستخدم على نطاق واسع لتوجيه الهواء البارد وتوزيعه في مناطق إعداد الطعام، والمخازن، والغرف الباردة ولكن لأسباب صحية لا بد من إزالته بانتظام لغسله ثم إعادة تركيبه وهي عملية تستغرق وقتا طويلا ومكلفا. ويكون الغلاف من نسيج مشربة غير قابل للاحتراق ومقاوم للتآكل (الشكل (3-7)).

يمكن استخدام عدة طرق لتوزيع الهواء مثل النظام النفاذي (Permeable system) والنظام المشقوب(Slot system) والنظام المزود ببخاخات (Nozzle system).

الشكل 3-7: مجري هواء من النسيج الصناعي.

تمارين:

1 - عدد أصناف أنظمة توزيع الهواء داخل المبنى بناءً على موقع المجرى واذكر استخدامات كل نظام منها.

2 - ما مدى السرعات المسموح بها في أنظمة توزيع الهواء في أنظمة التكييف التجارية التقليدية ؟

3 - لتصنيع مجرى هوائي من الصاج المجلفن بقطر داخلي 500 mm . ما سمك الصاج الذي يجب استخدامه ؟

4 - أين يمكن استخدام المجاري المعدنية المرنة ؟ اذكر بعض التطبيقات.

الوحدة الرابعة

تصميم المجاري الهوائية

الوحدة الرابعة : تصميم المجاري الهوائية

Air Ducts design

الهدف العام :

القدرة على تصميم المجاري الهوائية للتكييف المركزي.

الأهداف التفصيلية : عندما تكمل هذه الوحدة تكون قادراً على:

1. معرفة الخطوات اللازمة لتصميم مجاري الهواء بطريقة الاحتكاك المتساوي.
2. استخدام خرائط هبوط الضغط لاختيار أقطار المجاري الدائرية.
3. استخدام خرائط هبوط الضغط لاختيار أبعاد المجاري المستطيلة.
4. استخدام الجداول الخاصة بتركيبات مجاري الهواء لإيجاد معامل الفقد لها.
5. حساب هبوط الضغط في مجاري الهواء والتركيبات.
6. حساب قدرة المروحة اللازمة.

الوقت المتوقع للتدريب :

8 ساعات.

الوحدة الرابعة : تصميم المجاري الهوائية
Air Ducts design

1 - مقدمة : (Introduction)

تعتبر عملية تصميم مجاري الهواء من العمليات الهندسية التي تحتاج إلى الخبرة والممارسة العملية بالإضافة إلى الخلفية العلمية. توجد العديد من الطرق المستخدمة في تصميم مجاري الهواء لأنظمة التكييف المركزي. في هذه الوحدة سوف تتم دراسة وتطبيق أكثر الطرق المستخدمة وهي طريقة الاحتكاك المتساوي بالإضافة إلى طريقة حساب الفقد نتيجة للاحتكاك في تركيباتها المختلفة وسوف يتم التطرق أيضاً إلى طرق عزل مجاري الهواء.

2 - الفقد في الضغط بأطوال وتركيبات مجاري الهواء :

2 - 1 فقد الضغط خلال الوصلات : (Drop Pressure in Fittings)

فيما يخص الهبوط في الضغط في تركيبات مجاري الهواء فيمكن حسابه بواسطة الطرق التالية: طريقة الطول المكافىء أو طريقة معامل الفقد.

(أ) طريقة الطول المكافئ: (Equivalent Length Method)

يتم حساب فقد الضغط الناتج عن أي تركيبة بالمجرى الهوائي باعتماد طول مكافئ لها بنفس المقطع من خلال جداول معدة مسبقا للغرض ويعطي نفس هبوط الضغط خلال التركيبة.

(ب) طريقة معامل الفقد: (Loss Coefficient Method)

في هذه الطريقة يتم حساب هبوط الضغط خلال الوصلة أو التركيبة بإيجاد معامل الفقد (C) من الجداول الخاصة بالتركيبات واستخدام المعادلة التالية : $\Delta p = \frac{1}{2} C \rho_a V^2 = 0.6 C V^2$

حيث أن:

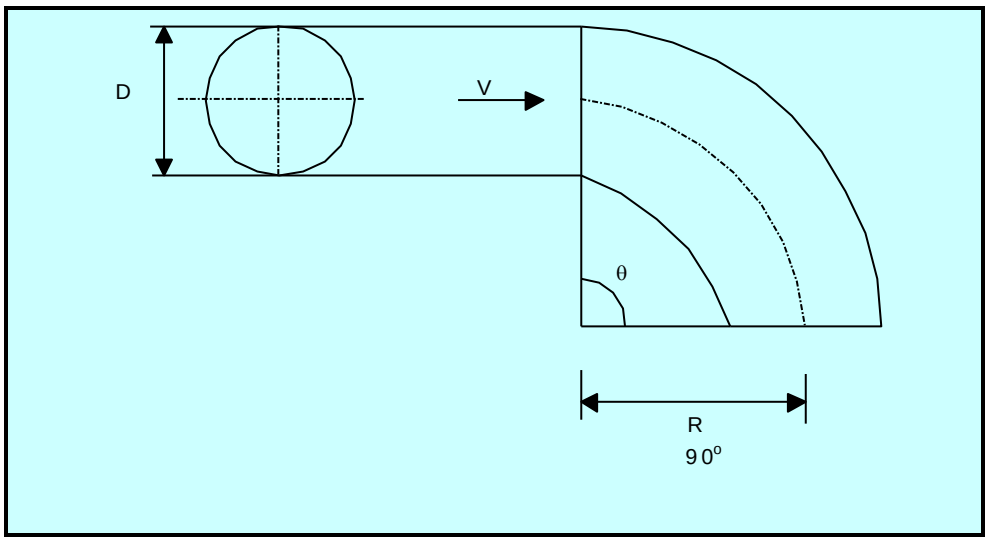
Δp : هبوط الضغط الكلي في التركيبة بحساب (Pa)

C : معامل الفقد حيث يتم إيجاده من الجداول الخاصة بكل تركيبة

V: سرعة الهواء في المجرى بحساب (m/s)

ρ : كثافة الهواء ($\rho = 1.2\ kg/m^3$)

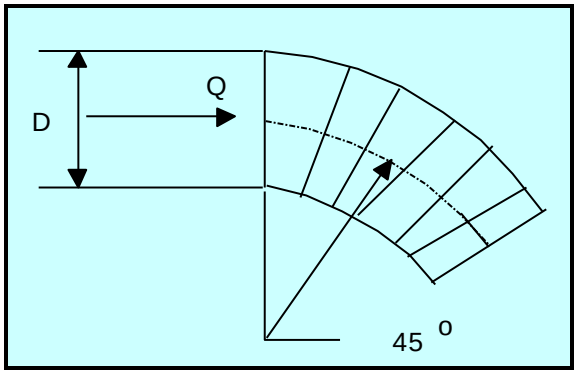
❖ معامل الفقد الكلي (C) للمرافق (الأكواع): (Elbows)



شكل (4- 1): كوع مثني (pleated) (90^{o}) في مجرى دائري.

R/D	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	2.5
C	0.71	0.33	0.22	0.15	0.13	0.12

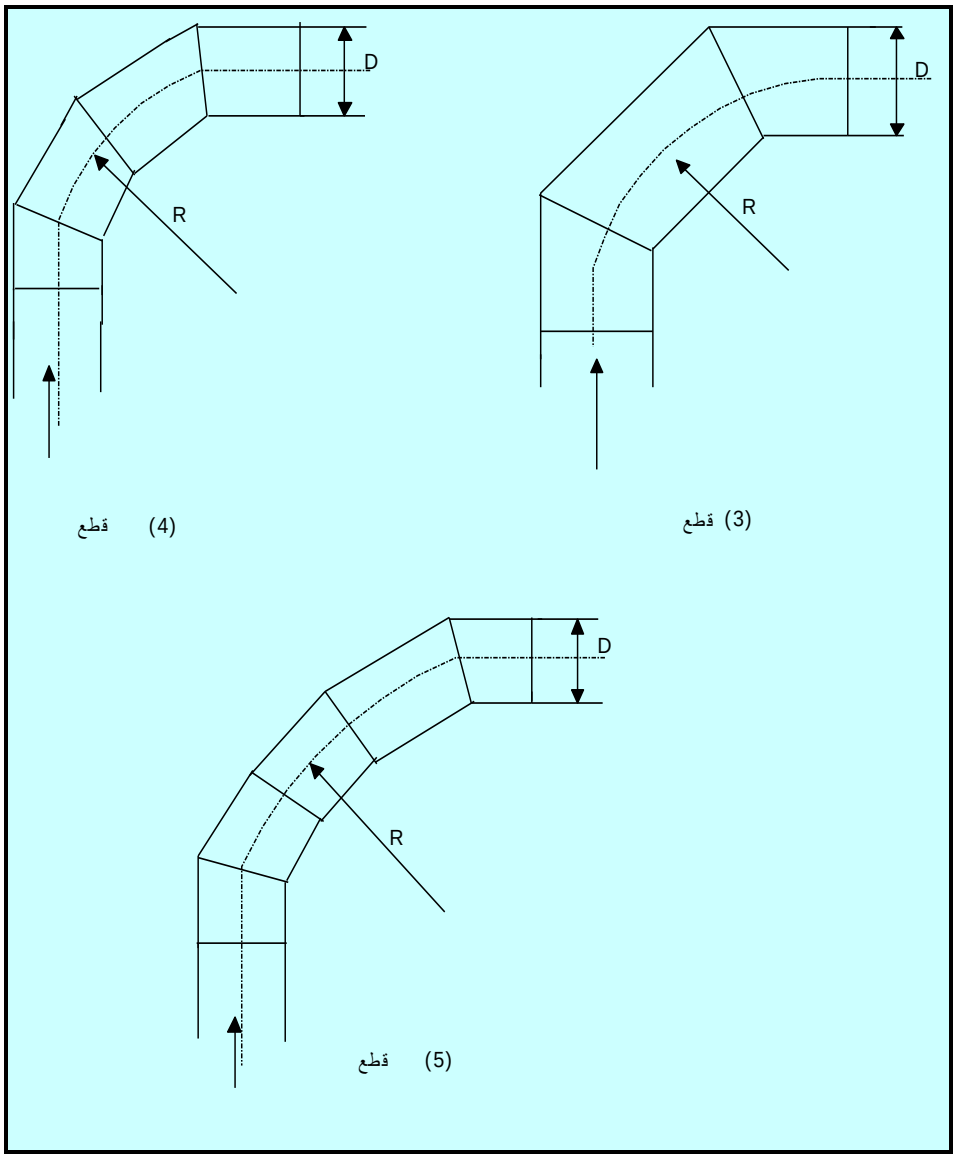
جدول (4- 1): معامل الفقد للشكل (4- 1).



شكل (4- 2): كوع مثني (pleated) $\frac{R}{D} = 1.5$ (45^{o}) في مجرى دائري.

D(mm)	100	150	200	250	300	350	400
C	0.34	0.26	0.21	0.17	0.16	0.15	0.15

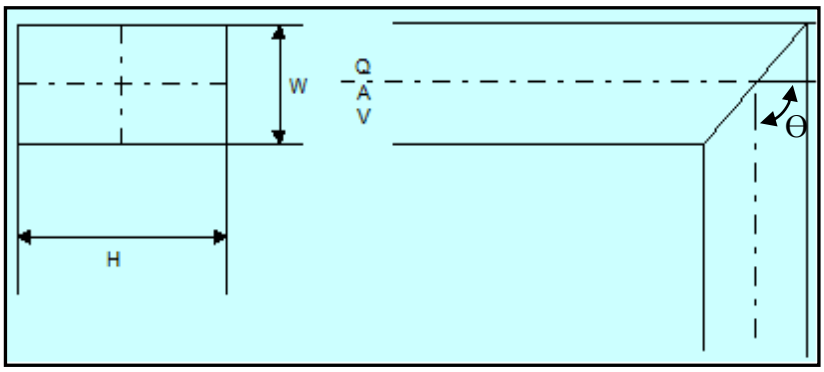
جدول (4- 2): معامل الفقد للشكل (4- 2).



شكل (4- 3): كوع (90^{o}) (3,4,5 pieces) في مجرى دائري.

عدد القطع	C				
	R/D				
	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
5	-	0.46	0.33	0.24	0.19
4	-	0.50	0.37	0.27	0.24
3	0.98	0.54	0.42	0.34	0.33

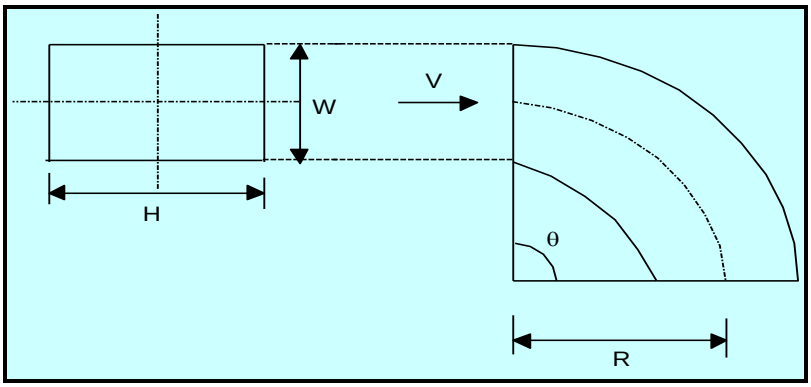
جدول (4- 3): معامل الفقد للشكل (4- 3).



شكل (4- 4): كوع مشطوب (mitered) في مجرى مستطيل.

(θ^{o})	C										
	H/W										
	0.25	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0
20	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05
30	0.18	0.17	0.17	0.16	0.15	0.15	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11
45	0.38	0.37	0.36	0.34	0.33	0.31	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24
60	0.60	0.59	0.57	0.55	0.52	0.49	0.46	0.43	0.41	0.39	0.38
75	0.89	0.87	0.84	0.81	0.77	0.73	0.67	0.63	0.61	0.58	0.57
90	1.30	1.30	1.20	1.20	1.10	1.10	0.98	0.92	0.89	0.85	0.83

جدول (4- 4): معامل الفقد للشكل (4- 4)

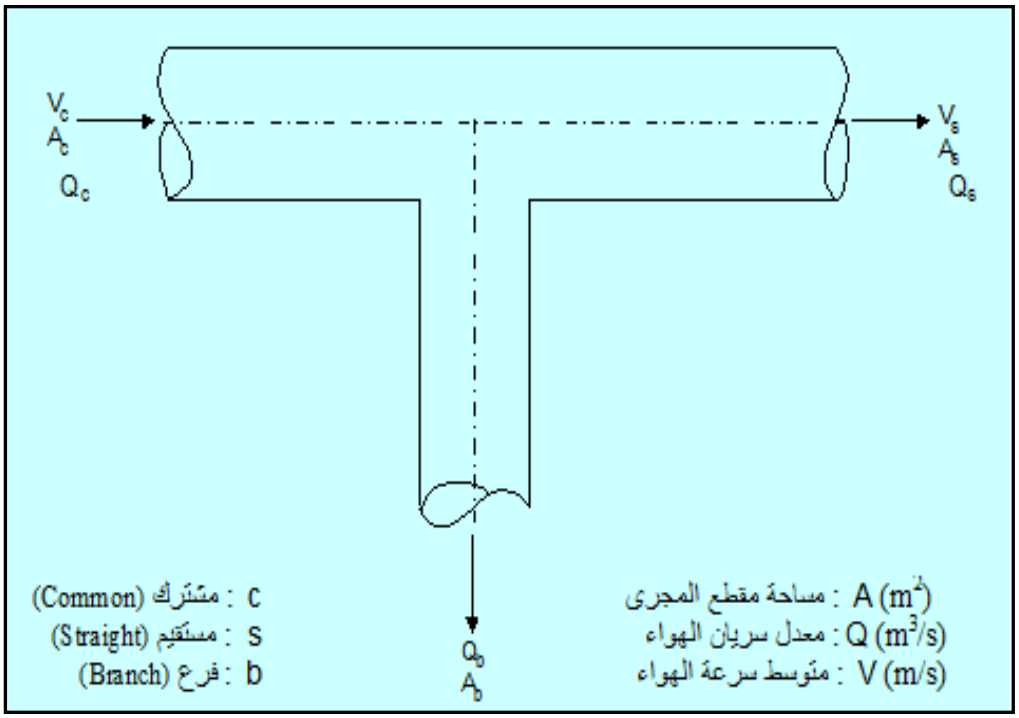


شكل (4- 5): كوع مثني (pleated) (90^{o}) بدون ريش توجيه في مجرى مستطيل

R/W	C										
	H/W										
	0.25	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0
0.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2
0.75	0.57	0.52	0.48	0.44	0.40	0.39	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44
1.0	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.18	0.19	0.20	0.27	0.21
1.5	0.22	0.20	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17
2.0	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15

جدول (4- 5): معامل الفقد للشكل (4- 5).

معامل الفقد الكلي (C) للتركيبات الدائرية :



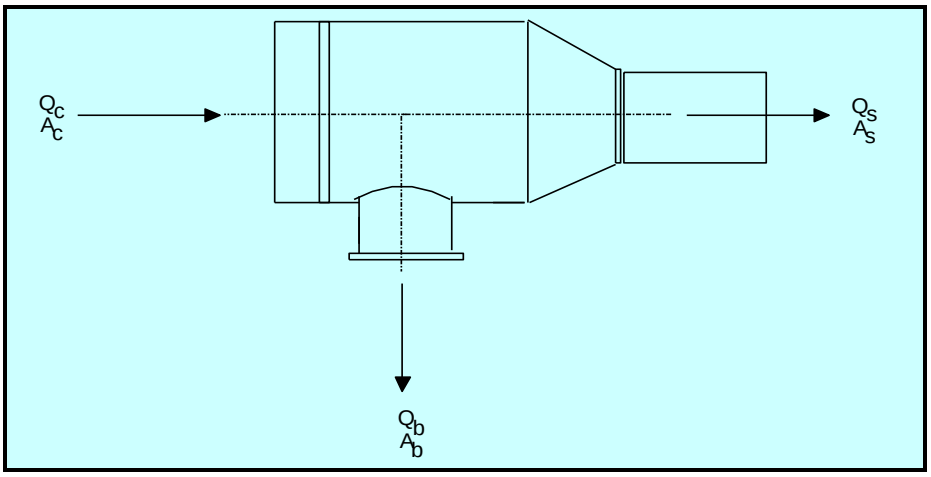
للفرع cb

C									
Q_b/Q_c									
A_b/A_c	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.8	0.95	0.92	0.92	0.93	0.94	0.95	1.1	1.2	1.4
0.7	0.95	0.94	0.95	0.98	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6
0.6	0.96	0.97	1.0	1.1	1.1	1.2	1.4	1.7	2.0
0.5	0.97	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.8	2.1	2.5
0.4	0.99	1.1	1.3	1.5	1.7	2.0	2.4	-	-
0.3	1.1	1.4	1.8	2.3	-	-	-	-	-
0.2	1.3	1.9	2.9	-	-	-	-	-	-
0.1	2.1	-	-	-	-	-	-	-	-

للمجرى الرئيس cs

Vs/Vc	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
C	0.35	0.28	0.22	0.17	0.13	0.09	0.06	0.02	0

جدول (4- 6): معامل الفقد للشكل (4- 6)



شكل (4- 7) مجرى بمساحة مقطع متغيرة

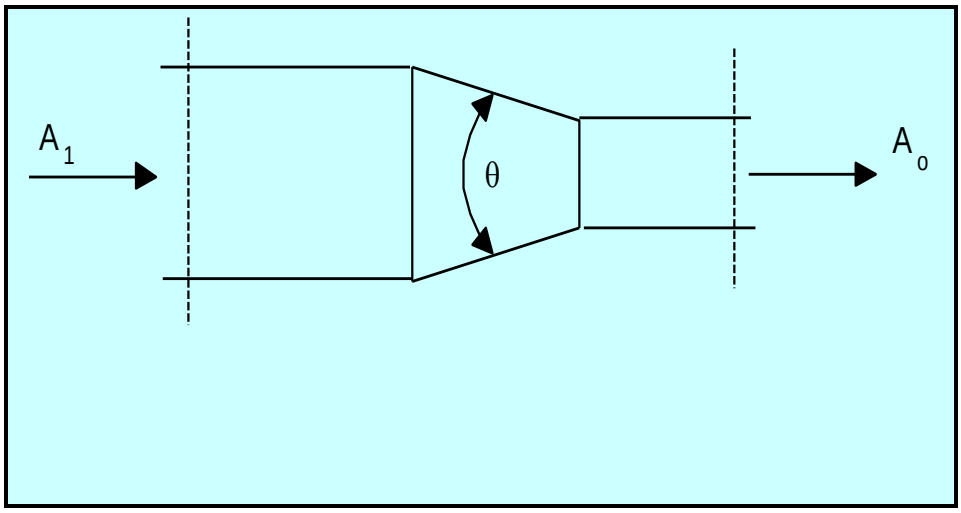
للفرع cb_

C									
	Q_b/Q_c								
A_b/A_c	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1	1.2	0.62	0.80	1.28	1.99	2.92	4.07	5.44	7.02
0.2	4.1	1.2	0.72	0.62	0.66	0.80	1.01	1.28	1.6
0.3	8.99	2.4	1.2	0.81	0.66	0.62	0.64	0.7	0.8
0.4	15.89	4.1	1.94	1.2	0.88	0.72	0.64	0.62	0.63
0.5	24.8	6.29	2.91	1.74	1.2	0.92	0.77	0.68	0.63
0.6	35.73	8.99	4.1	2.4	1.62	1.2	0.96	0.81	0.72
0.7	48.67	12.19	5.51	3.19	2.12	1.55	1.2	0.99	0.85
0.8	63.63	15.89	7.14	4.1	2.7	1.94	1.49	1.2	1.01
0.9	80.6	20.1	8.99	5.13	3.36	2.4	1.83	1.46	1.2

للمجرى الرئيس cs

C									
	Q_s/Q_c								
A_s/A_c	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1	0.13	0.16							
0.2	0.2	0.13	0.15	0.16	0.28				
0.3	0.9	0.13	0.13	0.14	0.15	01.6	0.2		
0.4	2.88	0.2	0.14	0.13	0.14	0.15	0.15	0.16	0.34
0.5	6.25	0.37	0.17	0.14	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15
0.6	11.88	0.9	0.2	0.13	0.14	0.13	0.14	0.14	0.15
0.7	11.62	1.71	0.33	0.18	0.16	0.14	0.13	0.15	0.14
0.8	26.88	2.88	0.5	0.2	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14
0.9	36.45	4.46	0.9	0.3	0.19	0.16	0.15	0.14	0.13

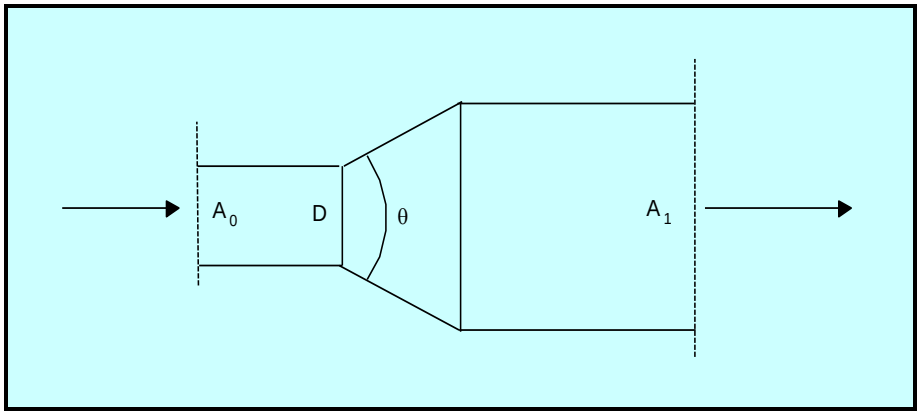
جدول (4- 7): معامل الفقد للشكل (4- 7).



شكل (4- 8): الإنتقال المجمع (Converging transition) إلى مجرى دائري أو مستطيل.

C							
A_1/A_0	θ , deg						
	10	15-40	50-60	90	120	150	180
2	0.05	0.05	0.06	0.12	0.18	0.24	0.26
4	0.05	0.04	0.07	0.17	0.27	0.35	0.41
6	0.05	0.04	0.07	0.18	0.28	0.36	0.42
10	0.05	0.05	0.08	0.19	0.29	0.37	0.43

جدول (4- 8): معامل الفقد للشكل (4- 8).



شكل (4- 9): الإنتقال المنفرج (Diverging transition) إلى مجرى دائري.

C									
R_e	A_1/A_0	θ , deg							
		16	20	30	45	60	90	120	180
0.5×10^5	2	0.23	0.19	0.32	0.33	0.33	0.32	0.31	0.30
	4	0.23	0.30	0.46	0.61	0.68	0.64	0.63	0.62
	6	0.27	0.33	0.48	0.66	0.77	0.74	0.73	0.72
	10	0.29	0.38	0.59	0.76	0.80	0.83	0.84	0.83
	≥ 16	0.31	0.38	0.60	0.84	0.88	0.88	0.88	0.88
2×10^5	2	0.07	0.12	0.23	0.28	0.27	0.27	0.27	0.26
	4	0.15	0.18	0.36	0.55	0.59	0.59	0.58	0.57
	6	0.19	0.28	0.44	0.90	0.70	0.71	0.71	0.69
	10	0.20	0.24	0.43	0.76	0.80	0.81	0.81	0.81
	≥ 16	0.21	0.28	0.52	0.76	0.87	0.87	0.87	0.87
≥ 6×10^5	2	0.05	0.07	0.12	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
	4	0.17	0.24	0.38	0.51	0.56	0.58	0.58	0.57
	6	0.16	0.29	0.46	.060	0.69	0.71	0.70	0.70
	10	0.21	0.33	0.52	0.60	0.76	0.83	.084	0.83
	≥ 16	0.21	0.34	0.56	0.72	0.79	0.85	0.87	0.89

جدول (4- 9): معامل الفقد للشكل (4- 9).

حيث إن :

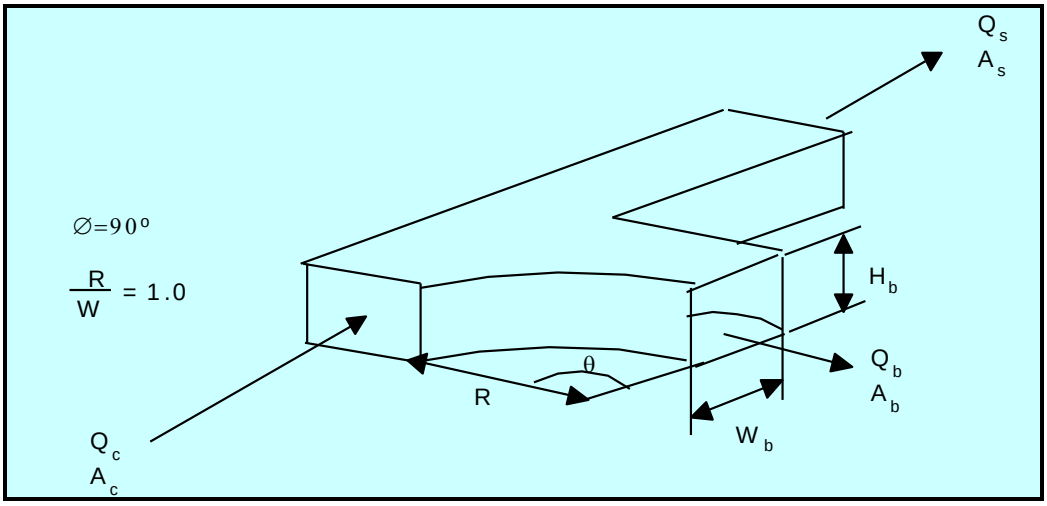
$$R_e = 0.55\times10^5 \, DV$$

R_e : رقم رينولدز

D : القطر عند المدخل (m)

V : السرعة عند المدخل (m/s)

❖ معامل الفقد الكلي (C) للتركيبات المستطيلة :



شكل (4- 10): الفروع (Wye) المستطيلة.

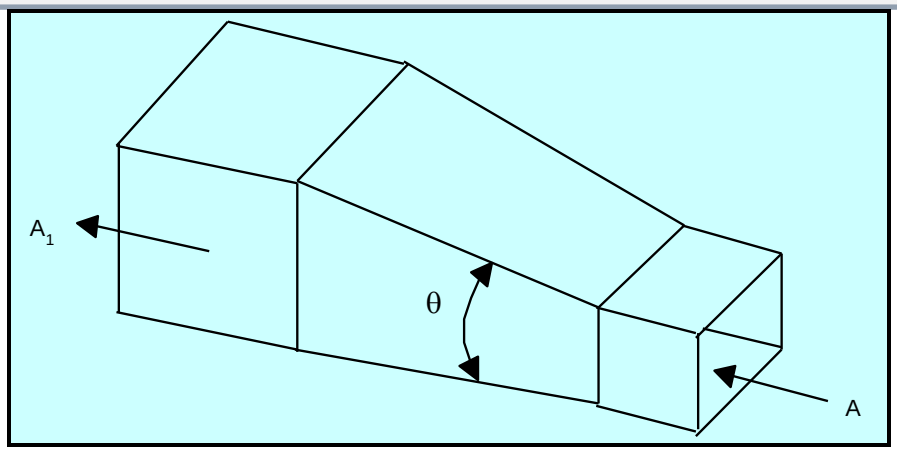
للفرع cb

A_b/A_s	A_b/A_c	C Q_s/Q_c								
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.25	0.25	0.55	0.5	0.6	0.85	1.2	1.8	3.1	4.4	6.0
0.33	0.25	0.35	0.35	0.5	0.8	1.3	2.0	2.8	3.8	5.0
0.5	0.5	0.62	0.48	0.4	0.4	0.48	0.6	0.78	1.1	1.5
0.67	0.5	0.52	0.4	0.32	0.3	0.34	0.44	0.62	0.92	1.4
1.0	0.5	0.44	0.38	0.38	0.41	0.52	0.68	0.92	1.2	1.6
1.0	1.0	0.67	0.55	0.46	0.37	0.32	0.29	0.29	0.3	0.37
1.33	1.0	0.7	0.6	0.51	0.42	0.34	0.28	0.26	0.26	0.29
2.0	1.0	0.6	0.52	0.43	0.33	0.24	0.17	0.15	0.17	0.21

للمجرى الرئيس cs

A_b/A_s	A_b/A_c	C Q_s/Q_c								
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.25	0.25	-.01	-.03	-.01	0.05	0.13	0.21	0.29	0.38	0.46
0.33	0.25	0.08	0	-.02	-.01	0.02	0.08	0.16	0.24	0.34
0.5	0.5	-.03	-.06	-.05	0	0.06	0.12	0.19	0.27	0.35
0.67	0.5	0.04	-.02	-.04	-.03	-.01	0.04	0.12	0.23	0.37
1.0	0.5	0.72	0.48	0.28	0.13	0.05	0.04	0.09	0.18	0.30
1.0	1.0	-.02	-.04	-.04	-.01	0.06	0.13	0.22	0.30	0.38
1.33	1.0	0.10	0	0.01	-.03	-.01	0.03	0.10	0.20	0.30
2.0	1.0	0.62	0.38	0.23	0.13	0.08	0.05	0.06	0.10	0.20

جدول (4- 10): معامل الفقد للشكل (4- 10).



شكل (4- 11): الإنتقال المنفرج (Diverging transition) إلى مجرى مستطيل.

A1/A	θ ,deg							
	16	20	30	45	60	90	120	180
2	0.18	0.22	0.25	0.29	0.31	0.32	0.33	0.30
4	0.36	0.43	0.50	0.56	0.61	0.63	0.63	0.63
6	0.42	0.47	0.58	0.68	0.72	0.76	0.76	0.75
≥10	0.42	0.49	0.59	0.70	0.80	0.87	0.85	0.86

جدول (4- 11): معامل الفقد للشكل (4- 11).

❖ الفقد في الضغط خلال عناصر منظومة شبكة الهواء:

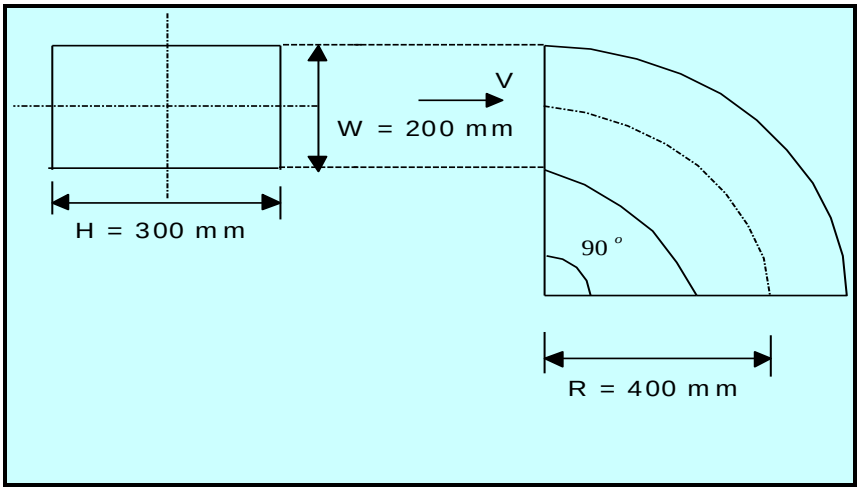
يتم تقدير الفقد في الضغط للعناصروالأجزاء المكونة لشبكة توزيع ونشر الهواء حسب الجدول التالي:

م	العنصر	فاقد الاحتكاك (Pa)
.1	مدخل الهواء أو مدخل المروحة	1.25-25
.2	ملفات التبريد أو التسخين	25-90
.3	وحدات الرش	50-90
.4	المرشحات	50-100
.5	نظام المجاري	10-100
.6	الستائر أو الجريلات	25-50
.7	مخارج الهواء	25
.8	الضغط الاستاتيكي للمروحة	250-400

جدول (4- 12): فاقد الاحتكاك لمعدات أنظمة مجاري الهواء.

مثال (1):

احسب هبوط الضغط خلال كوع لمجرى مستطيل كما في الشكل (4- 12) أبعاده $(200 \times 300 \ mm)$ إذا كان الكوع (90^o) وله نصف قطر من المنتصف $R = 400 \ mm$ وكان معدل سريان الهواء خلال الكوع $(0.6 \ m^3/s)$.



شكل (4- 12)

الحل:

نوجد قيمة معامل الفقد من الجدول (4- 5):

$$R/W = \frac{400}{200} = 2.0 \quad , \quad \frac{H}{W} = \frac{300}{200} = 1.5$$

$$\therefore C = 0.14$$

ثم نحسب متوسط السرعة بالمعادلة التالية:

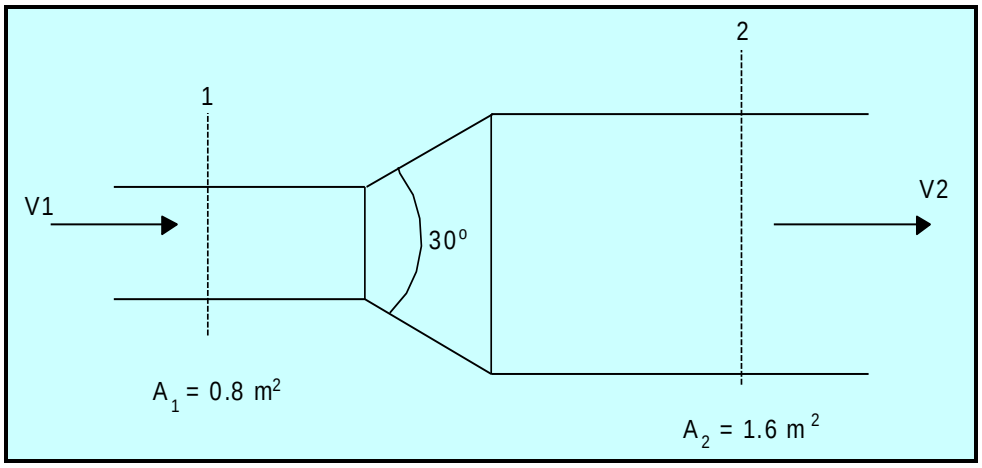
$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.6}{0.3 \times 0.2} = 10 \ m/s$$

وبالتالي يكون الفقد في الضغط:

$$\therefore \Delta p_T = 0.6 \times 0.14 \times (10)^2 = 8.4 \ Pa$$

مثال (2):

الجزء الإنتقالي الدائري في الشكل (4- 13) يتناول $\left(4\ {}^{m^3}\!/_{s}\right)$ من الهواء . أوجد فاقد الضغط خلال التركيبة .



شكل (4- 13): الإنتقالي الدائري.

باستخدام الجدول (4- 9) الخاص بالتركيبة:

$$V_1 = \frac{Q}{A} = \frac{4}{0.8} = 5\ {}^{m}\!/_{s} \quad , \quad \theta = 30^{o} \quad , \quad \frac{A_1}{A} = \frac{1.6}{0.8} = 2.0$$

$$R_e = 0.55 \times 10^5\ DV \quad , \quad D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.8}{\pi}} = 1\ m$$

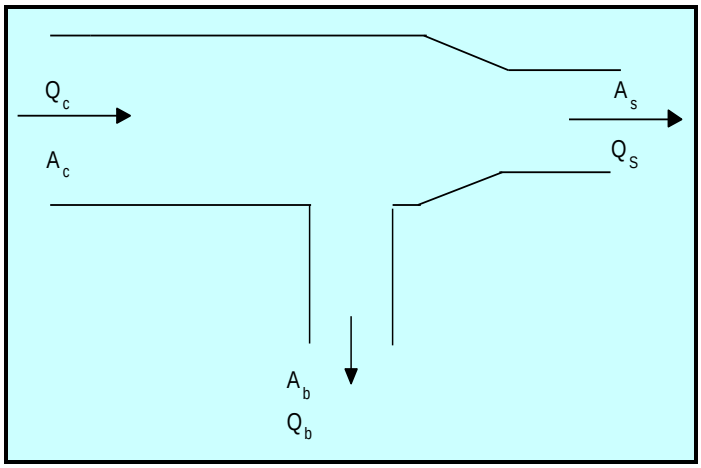
$$\therefore\ R_e = 0.55 \times 10^5 \times 1 \times 5 = 2.75 \times 10^5$$

$$C = 0.23$$

$$\therefore\ \Delta p_T = 0.6 \times 0.23 \times (5)^2 = 3.45\ \ Pa$$

لاحظ أننا استخدمنا السرعة عند المصعد للانتقال المنفرج.

مثال (3):



شكل (4- 14): النهوض

أوجد فاقد الضغط خلال الجزء المستقيم للنهوض الموضح في الشكل (4- 14) لمجرى مستطيل ، إذا علمت أن :

$$\left(Q_c = 2\ m^3/s\right)\ ,\ \left(A_c = 0.25\ m^2\right)$$

$$\left(Q_b = 0.5\ m^3/s\right)\ ,\ \left(A_b = 0.1\ m^2\right)$$

$$\left(V_s = 7\ m/s\right)$$

$$\theta = 30°$$

الحل:

باستخدام الجدول (4- 10) نوجد معامل الفقد للمجرى الرئيس باعتبار أن التركيبة مستطيلة :

حسب معطيات التمرين: $Q_s = Q_c - Q_b = 2 - 0.5 = 1.5\ m^3/s$

وبالتالي : $A_s = \frac{Q_s}{V_s} = \frac{1.5}{7} \approx 0.2\ m^2$

ومن ثم يمكن حساب التالي:

$$\left(\frac{Q_s}{Q_c}=\frac{1.5}{2}=0.75\right)\ ,\ \left(\frac{A_b}{A_s}=\frac{0.1}{0.2}=0.5\right)\ ,\ \left(\frac{A_b}{A_c}=\frac{0.1}{0.25}=0.4\right)$$

فنتحصل على معامل الفقد: $C = 0.22$

وباستخدام الجدول (4- 8) مجمع إلى مجرى دائري أو مستطيل: $\left(\frac{A_c}{A_s}=1.25\right)$

فنجد: $C = 0.05$

ويكون الفقد في الضغط الكلي:

$$\Delta p_T = 0.6 \times 0.22 \times (8)^2 + 0.6 \times 0.05 \times (7)^2 = 9.9\ Pa$$

لاحظ أننا استخدمنا السرعة عند المهبط للانتقال المجمع.

2 2 - فقد الضغط خلال المجاري المستقيمة: (Drop Pressure in duct lengths)

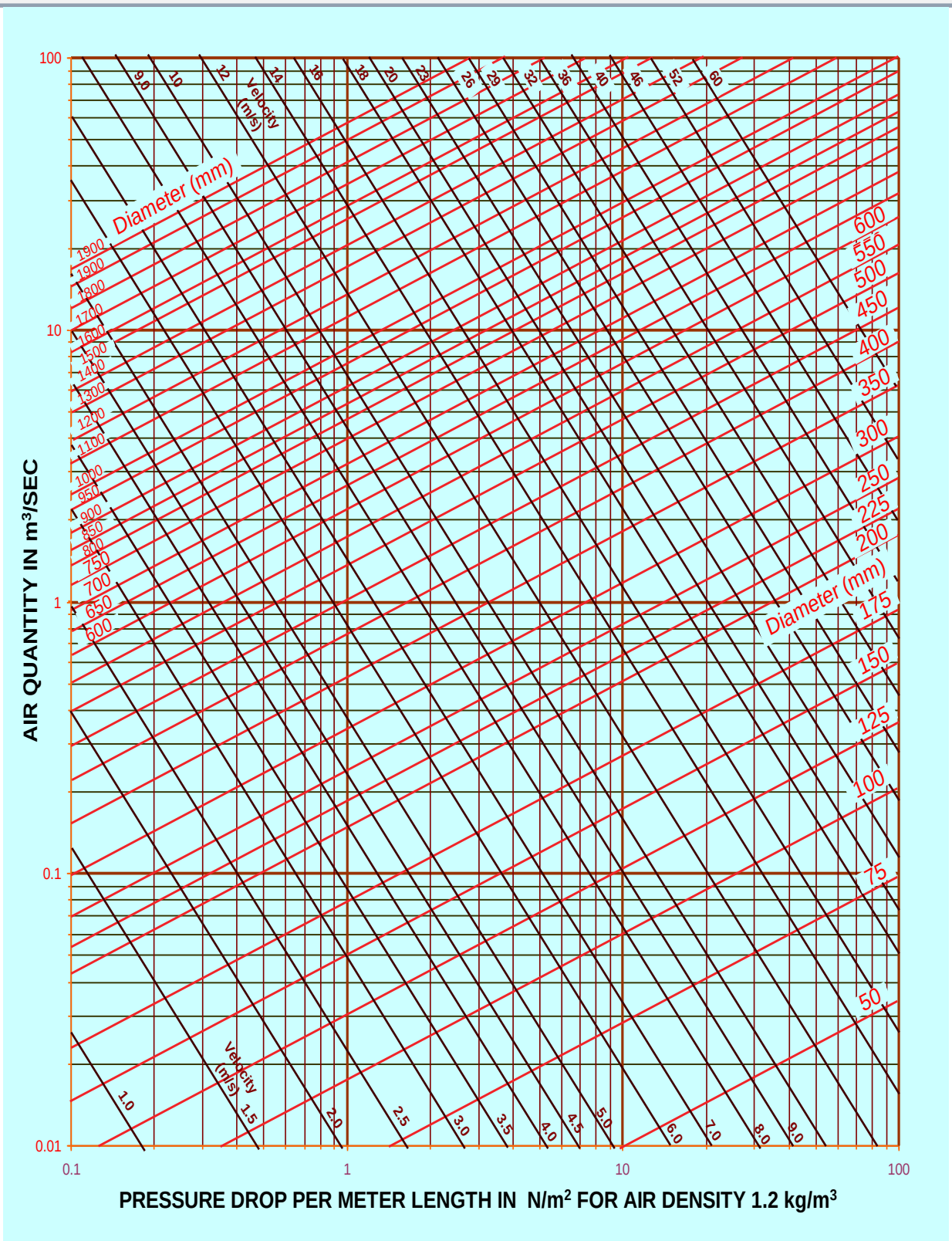
يتم حساب الهبوط في الضغط في المجري المستقيم من خلال معرفة طوله (L) وباستخدام مخططات هبوط الضغط للهواء لكل متر طولي(ml) المصممة لذلك($\frac{\Delta p}{ml}$) ، فيكون الفقد في المجري المستقيم يساوي:

$$\Delta p = L\ (\frac{\Delta p}{ml})$$

وبما أن المجرى الهوائي يحتوي عدة أطوال مستقيمة فمجموع الهبوط في الضغط الناتج عن الاحتكاك في المجاري المستقيمة يحسب كالتالي:

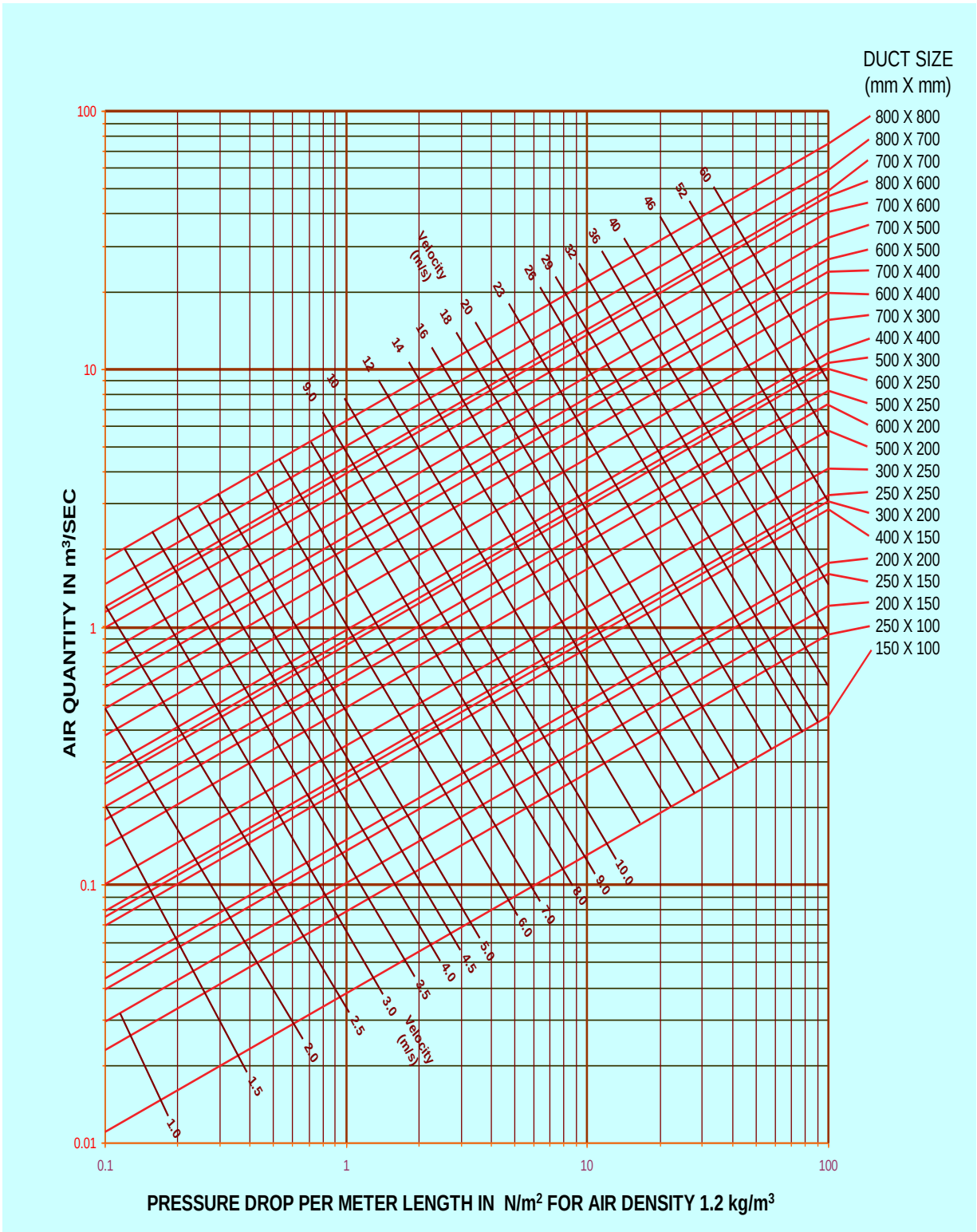
$$\Delta p_T = \sum L_i\ (\frac{\Delta p}{ml})_i$$

الشكلين (4- 15) و (4- 16) يمثلان خريطتين لهبوط الضغط لكل متر طولي $\left(Pa/m\right)$ نتيجة للاحتكاك في مجاري الهواء الدائرية والمستطيلة بدلالة معدل سريان الهواء $\left(m^3/s\right)$ وأبعاد المجرى.



شكل (4- 15): خريطة هبوط الضغط نتيجة للاحتكاك في مجاري الهواء الدائرية

(معدل السريان $\left(m^3/s\right)$ - هبوط الضغط لكل متر طولي $\left(Pa/m\right)$)



شكل (4- 16): خريطة هبوط الضغط نتيجة للاحتكاك في مجاري الهواء المستطيلة

(معدل السريان $\left(m^3/s\right)$ - هبوط الضغط لكل مترطولي $\left(Pa/m\right)$)

مثال:

احسب فقد الضغط خلال مجرى هواء دائري قطره 250 mm ومعدل سريان الهواء خلاله 0,7 m^3/s وطوله 30 m .

الحل:

من الخريطة وعند معدل سريان 0,7 m^3/s وقطر 250 mm نستنتج هبوط الضغط لكل متر طولي نتيجة للاحتكاك في مجاري الهواء الدائرية 9 Pa/m.

حساب فقد الضغط خلال مجرى الهواء:

$$270\ Pa/m = 30 * 9 = \Delta P$$

3 طرق تصميم مجاري الهواء: (Duct Design Methods)

يتم تصميم مجاري الهواء بإحدى الطرق التالية:

3 1 - طريقة السرعة: (Velocity Method)

يتم في هذه الطريقة اختيار سرعة الهواء عند مخرج المروحة وبقية السرعات في مقاطع المجرى المختلفة بصورة متناقصة. تستخدم هذه الطريقة في المجاري البسيطة وتحتاج إلى خوانق توجيه لموازنة الهواء (Splitter Dampers). الجدول (4- 13) يعطي السرعات القصوى المسموح بها في مجاري الهواء والتي لا تسبب ضوضاء في الأنظمة ذات السرعات المنخفضة مثلا.

3 2 - طريقة الاحتكاك المتساوي: (Equal Friction Method)

تستخدم هذه الطريقة في تصميم مجاري هواء التغذية والراجع والعادم ويفرض فيها هبوط ضغط ثابت لكل وحدة طول من المجرى المستقيم. تمتاز هذه الطريقة عن طريقة السرعة في أنها تحتاج إلى موازنة أقل. تناسب طريقة الاحتكاك المتساوي كل الأنظمة تقريباً بتطبيقاتها التجارية والبسيطة وكذلك أنظمة الهواء متغير الحجم الكبيرة ولذا سوف تتم دراسة هذه الطريقة بالتفصيل في هذه الوحدة.

م	التطبيق	السرعة في المجرى الرئيس (m/s)
1	المساكن	3
2	الشقق المفروشة غرف الفنادق غرف المستشفيات	5
3	المكاتب الخاصة مكاتب المديرين المكتبات	6
4	المسارح وقاعات الاجتماعات	4
5	المكاتب العامة المطاعم الفاخرة المستودعات الفاخرة البنوك	7.5
6	المستودعات المتوسطة	9
7	الاستخدامات الصناعية	12.5

جدول (4- 13): السرعات القصوى المسموح بها في مجاري الهواء والتي لا تسبب ضوضاء (الأنظمة ذات السرعات المنخفضة).

3 3 - طريقة توازن السعة: (Balanced-Capacity Method)

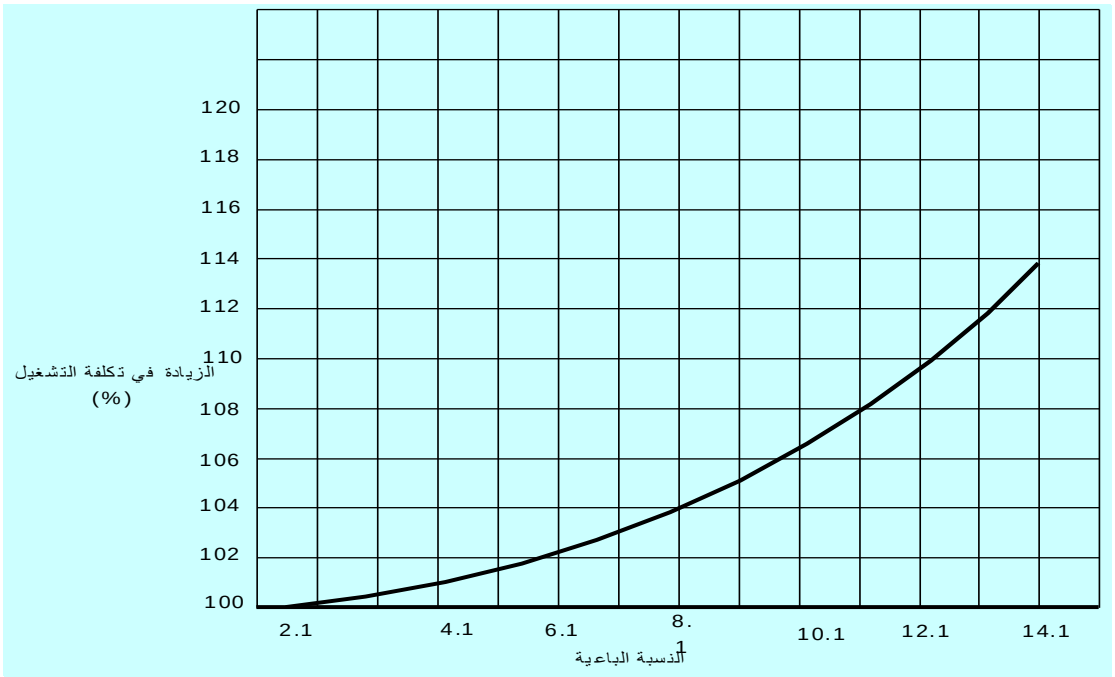
تعرف هذه الطريقة أيضاً بطريقة توازن فقد الضغط (Balanced-Pressure Loss Method) وتتم فيها موازنة معدلات سريان الهواء في مقاطع المجرى. الفكرة الأساسية لهذه الطريقة تعتمد على جعل هبوط الضغط الكلي للمجرى متساوياً في جميع المقاطع من المروحة إلى المخارج وعليه فإن هبوط الضغط لكل وحدة طول من المجرى ليس ثابتاً كما هو الحال في طريقة الاحتكاك المتساوي. خطوات التصميم لهذه الطريقة هي نفسها بالنسبة لطريقة الاحتكاك المتساوي. تمتاز الطريقة بأنها توضح الأماكن التي تحتاج إلى خوانق موازنة وهي تناسب التطبيقات التي يحتاج فيها نظام المجرى إلى موازنة نسبة لأنها لا تحتاج إلى عملية موازنة كنظام الهواء ثابت الحجم. يكمن قصور هذه الطريقة في إنها تستخدم طريقة الطول المكافئ بالنسبة لوصلات المجرى.

4 3 - طريقة الاستعاضة الإستاتيكية: (Static Regain Method)

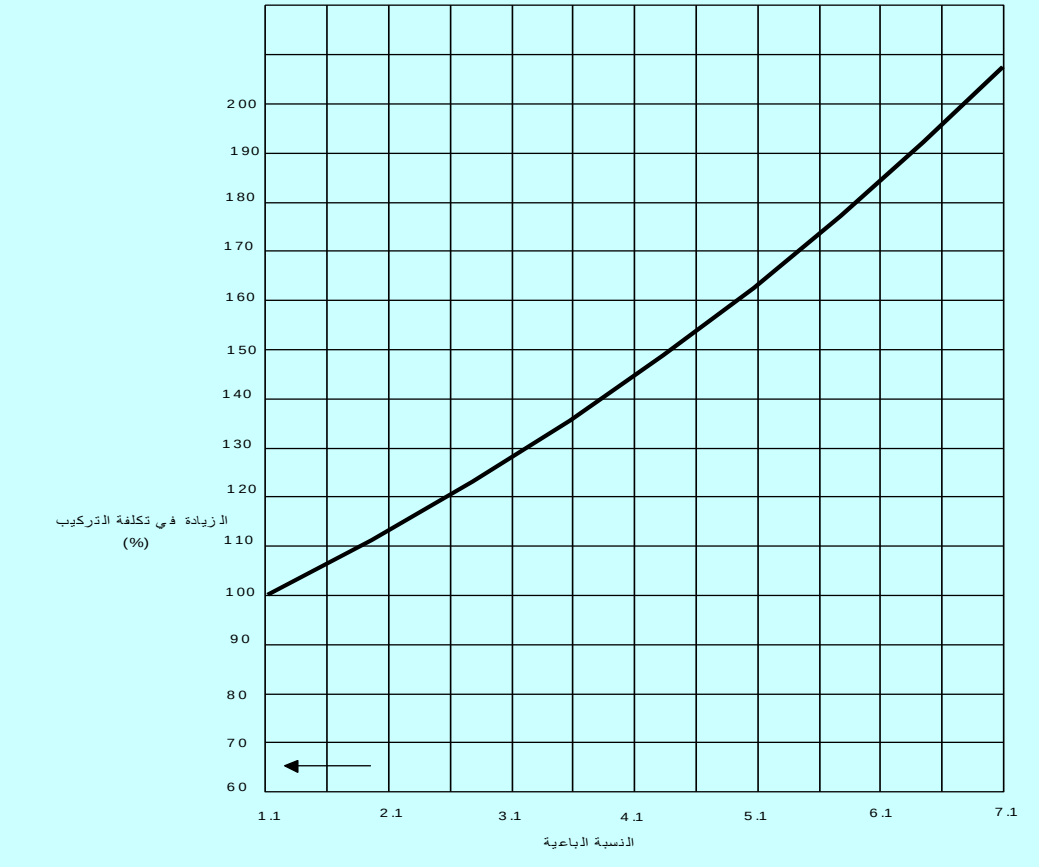
يتم تحديد مقاس المجرى في المقطع في هذه الطريقة بفرض ضغط إستاتيكي متساوي في جميع الفروع والمخارج (Take-Offs & Outlets) بحيث تعمل الزيادة في الضغط الاستاتيكي (نتيجة لنقصان السرعة) في كل فرع أو مخرج على تلاشي هبوط الضغط في ذلك المقطع وعليه فإن هذه الطريقة تحتاج إلى موازنة للهواء نسبة لأن الضغط الكلي ليس ثابتاً ولكن الضغط الاستاتيكي هو الثابت. تناسب هذه الطريقة الأنظمة ذات السرعات العالية وحجم ثابت للهواء ومجاري طويلة متعددة الفروع.

4 -النسبة الباعية: (Aspect ratio)

هي عبارة عن النسبة بين الضلع الأكبر (العرض) إلى الضلع الأصغر (الارتفاع أو العمق) لمجرى الهواء المستطيل وهذه النسبة هامة يجب وضعها في الاعتبار عند تصميم مجاري الهواء. كمبدأ عام يجب أن تكون النسبة الباعية صغيرة بقدر الإمكان، وذلك لتفادي الفقد نتيجة للاحتكاك، وبالتالي تفادي الزيادة في القدرة المستهلكة بالإضافة إلى أن تكلفة المواد الخام وتكلفة التصنيع والتركيب والتشغيل تزداد أيضاً كما هو موضح في الشكلين (4- 17) و(4- 18).



شكل (4- 17): تكلفة التشغيل – النسبة الباعية.



شكل (4- 18): تكلفة التركيب – النسبة الباعية.

5 خطوات تصميم مجاري الهواء: (Duct Design Procedures)

عند تصميم مجاري الهواء يجب اتباع الخطوات التالية:

- ✓ دراسة المبنى ومخططاته .
- ✓ اختيار نوعية نظام المجرى : محيطي أو فوقي.
- ✓ تحديد عدد ومكان مخارج الهواء.
- ✓ اختيار أبعاد مخارج الهواء والجريلات.
- ✓ تسجيل كميات الهواء على المسارات والفروع.
- ✓ حساب مقاسات مجاري التغذية والراجع
- ✓ حساب فاقد الاحتكاك في المجاري والوصلات.
- ✓ الموازنة.
- ✓ تحديد سعة المروحة المناسبة.

6 -تصميم مجاري الهواء باستخدام طريقة الاحتكاك المتساوي :

(Equal Friction Method)

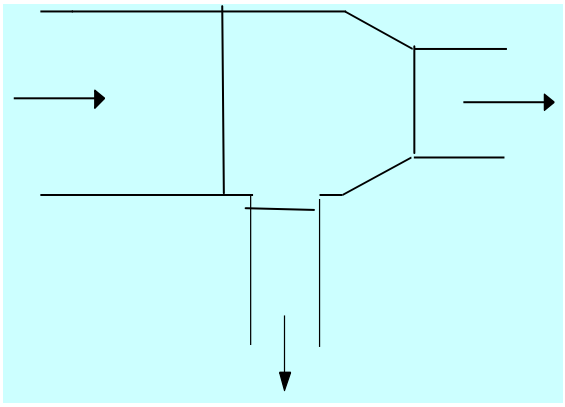
كما تم ذكره آنفاً تستخدم طريقة الاحتكاك المتساوي في تصميم أنظمة مجاري الهواء ذات السرعات المنخفضة حيث يتم فرض فاقد احتكاك ثابت يتراوح بين $(0.8 - 1.2\ Pa)$ لكل متر طولي من مجرى الهواء ولكل المسالك الرئيسة والفرعية وبمعرفة معدل سريان الهواء يمكن استنتاج أبعاد المجرى المناسب.

ومن أهم خصائص طريقة الاحتكاك المتساوي نذكر:

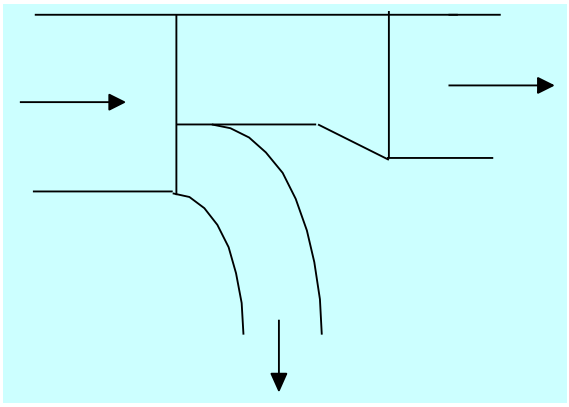
- تناقص السرعات بصورة منتظمة في اتجاه السريان وهذه تعتبر من مزايا طريقة الاحتكاك المتساوي لتصميم مجاري الهواء.
- بالنسبة للمجاري المستطيلة يجب أن يتم اختيار أبعادها بصورة متسلسلة بحيث تسهل عملية تصنيعها والتي سوف يتم التطرق لها لاحقاً في هذه الوحدة. كما يجب مراعاة أن تكون النسبة الباعية (W/H) للمقاطع أقل ما يمكن (يفضل أن تكون في حدود (1.0)) وذلك لتفادي زيادة كل من الحرارة المنتقلة خلال المجرى والتكلفة الأولية وتكلفة التشغيل ومعامل الاحتكاك. و يفضل اختيار المجاري مستطيلة المقطع لتسهيل التصنيع وإمكانية خفض ارتفاع الممرات اللازمة للمجاري وجعله ثابتاً بقدر الإمكان ليكون مظهره مقبولاً في حالة المجاري المكشوفة. ولكن من الوجهة الاقتصادية تفضل المجاري الدائرية نسبة لأن فاقد الاحتكاك لها قليل وأقل استهلاكا للمادة المصنع منها المجرى علاوة على احتياجها لحيز صغير.
- يجب أن تكون أبعاد المجرى التي تتم قراءتها من الخريطة منسجمة لكي تسهل عملية تصنيع المجرى للتقليل من عدد الخوافض والإنتقالات لتفادي الزيادة في هبوط الضغط وفي تكلفة التصنيع وعليه فعند اللجوء لمرحلة تصنيع المجاري فقد نضطر لتعديل أبعاد المقاطع لتحقيق ما تم ذكره أنفا بالإضافة إلى نوع النهوض (Take-off) الذي سوف نستخدمه. انظر الشكلين (4- 19)، (4- 20).

إذا كان المهم هو تقليل الفقد نتيجة للاحتكاك فإننا نستخدم النهوض كما في الشكل (4- 20) وفي هذه الحالة يمكن إهمال الفقد نتيجة للانتقال في المجرى المستقيم والفقد في الفرع يحسب على أساس أنه كوع (لاحظ أن ارتفاع المجرى يجب أن يكون ثابتاً في هذه الحالة ويتم تغيير العرض فقط للمقاطع). أما إذا كان المهم هو تقليل تكلفة التصنيع

فنستخدم النهوض الموضح في الشكل (4- 19) ولكن في هذه الحالة يكون هبوط الضغط خلال الفرع كبيراً.



شكل (4- 19): نهوض ذو هبوط ضغط عالي



شكل (4- 20): نهوض ذو هبوط ضغط قليل

- من الصعوبة المحافظة على هبوط الضغط ثابتاً في كل مسارات المجرى وهذه تعتبر من عيوب طريقة الاحتكاك المتساوي، حيث نجد اختلافاً في هبوط الضغط لكل مسار من المروحة إلي المخرج الأخير، وبالتالي يلزم استخدام خوانق مع المخارج لتعمل على تساوي انخفاض الضغط الكلي لكل مقاطع المجرى، وكذلك الحصول على معدلات السريان المطلوبة وبالتالي العمل على تعادل نظام مجرى الهواء وذلك عكس طريقة توازن السعة التي تم شرحها في مقدمة الوحدة.

7 اختيار وتحديد سعة المروحة: (Fan capacity selection)

توفر الشركات المصنعة عادة نوعين من منحنيات الأداء للمراوح المستخدمة مع مجاري الهواء هما:

- معدل السريان – الضغط الاستاتيكي للمروحة.
- معدل السريان – الضغط الكلي للمروحة.

فعند تصميم مجاري الهواء إذا تم حساب الضغط الاستاتيكي عند مخرج المروحة يمكن تحديد واختيار المروحة من منحنى الأداء الأول.

أما إذا تم تصميم مجاري الهواء بحساب هبوط الضغط الكلي للمجرى أي بحساب فقد الضغط نتيجة الاحتكاك في المجرى الرئيس زائداً التركيبات، بالإضافة إلى فاقد الضغط في خط الراجع وهبوط الضغط في بقية أجزاء النظام كملفات التبريد، وملفات التسخين،

ومدخل ومخرج المروحة، وصناديق الخلط... الخ، فيمكن استخدام المنحنى الثاني، أو يمكن كذلك استخدام المنحنى الأول (منحنى الضغط الاستاتيكي) بطرح ضغط السرعة للمروحة من الضغط الكلي للنظام لإيجاد الضغط الاستاتيكي للمروحة إذا علمنا سرعة خروج الهواء من المروحة.

وعند تحديد سعة المروحة يجب حساب الضغط الكلي عند مخرج المروحة (أي الضغط الاستاتيكي + ضغط السرعة) وضربه في معدل سريان الهواء.

ففي دراسة الحالة المشار إليها آنفاً يمكن حساب القدرة الخارجة من المروحة على النحو التالي:

$$p_{To} = p_{so} + p_{do} \quad , \quad P_o = p_{To} \times \dot{Q}$$

حيث :

p_{To} : الضغط الكلي عند مخرج المروحة.

p_{so} : الضغط الاستاتيكي عند مخرج المروحة.

p_{do} : الضغط الديناميكي (ضغط السرعة) عند مخرج المروحة: $p_{do} = \frac{1}{2}\rho \times V_F^2$

V_F: سرعة الهواءعند مخرج المروحة.

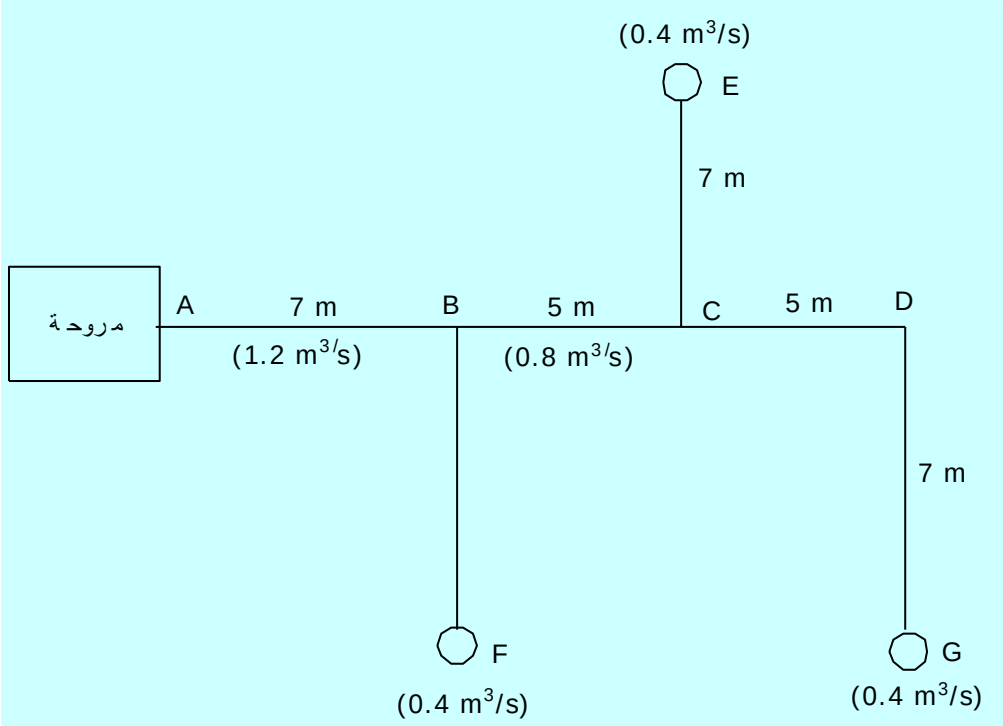
مثال (4):

الشكل (4- 21) لمجرى هواء من نظام تكييف مركزي . يتم توزيع الهواء من خلال المخارج E , F & G بمعدل $\left(0.4\ {}^{m^3}/_{s}\right)$.

(أ) أوجد مقاس الأقطار والسرعات لكل مقطع.

(ب) احسب فرق الضغط الكلي في جميع مسارات المجرى (A-F),(A-E), (A-G) إذا علم أن :

- الكوع D يتكون من ثلاث قطع ، ${}^{R}/_{D} = 1.0$
- خروج الهواء خلال المخارج يعتبر تصريفاً إلى ما لانهاية أي إن معامل الفقد $(C = 1.0)$
- كثافة الهواء $\rho = 1.2\ {}^{kg}/_{m^3}$
- افرض أن هبوط الضغط لكل متر من المجرى المستقيم يساوي $\left(1.0\ {}^{Pa}/_{m}\right)$



الشكل (4- 21): مجرى هواء لنظام تكييف مركزي

الحل:

كما أسلفنا فإن طريقة الاحتكاك المتساوي تفرض هبوطاً ثابتاً في الضغط لكل متر طولي من المجرى المستقيم وحسب توصية معهد مهندسي التدفئة والتهوية البريطاني (Institute of Heating Ventilating Engineers) والمعروف بـ (IHVE) فإنه يتم دائماً فرض $\left(1.0\ {}^{Pa}/_{m}\right)$ كمعدل هبوط ضغط لكل متر طولي للمجرى .

(أ) باستخدام خريطة هبوط الضغط للمجرى الدائري شكل (4- 17) عند هبوط ضغط $\left(1.0\ {}^{Pa}/_{m}\right)$ ومعدل السريان لكل مقطع نوجد الأقطار والسرعات كما يلي:

م	المقطع	معدل السريان $\left({}^{m^3}/_{s}\right)$	القطر (cm)	السرعة $\left({}^{m}/_{s}\right)$
1	A-B	1.2	47.5	6.8
2	B-C	0.8	42	6.2
3	C-D-G	0.4	32	5.2
4	BF	0.4	32	5.2
5	CE	0.4	32	5.2

(ب) لحساب هبوط الضغط الكلي في المجرى المستقيم A-G

أولاً: نوجد معامل الفقد للكوع D :

3- قطع ، $R/D = 1.0$ $(C = 0.42)$

ثانياً: نوجد معامل الفقد للانتقال B-C والإنتقال C-D :

عندما يوجد انتقال وفرع أو ما يعرف بنهوض الفرع (Branch take-off) في المجرى فإن المجرى يتعرض لهبوط في الضغط نتيجة للانتقال وآخر نتيجة للفرع ويجب أن يتم حساب كل منهما على حدة وقيمة كل منهما تعتمد على الشكل.

الإنتقال **B-C** :

باستخدام الجدول (4- 7) الخاص بالتركيبة تحويلة تي دائرية شكل (4- 7).

(أ) للمجرى الرئيس

$$A_s/A_c = (0.42/0.475)^2 = 0.8$$

$$Q_s/Q_c = 0.8/1.2 = 0.7$$

$$C = 0.13$$

(ب) للفرع

$$A_b/A_c = (0.32/0.475)^2 = 0.4$$

$$Q_b/Q_c = 0.4/1.2 = 0.3$$

$$C = 1.94$$

الإنتقال **C-D** :

(أ) للمجرى الرئيس:

$$A_s/A_c = (032/0.0.42)^2 = 0.6$$

$$Q_s/Q_c = 0.4/0.8 = 0.5$$

$$C = 0.14$$

(ب) للفرع

$$A_b/A_c = (0.32/0.42)^2 = 0.6$$

$$Q_b/Q_c = 0.4/0.8 = 0.5$$

$$C = 1.62$$

ثالثاً : هبوط الضغط الكلي للمجرى = هبوط الضغط في المجاري المستقيمة + هبوط الضغط في التركيبات.

- يجب حساب هبوط الضغط الكلي نتيجة للاحتكاك في جميع مسارات المجرى لتحديد أطول مسار (ذي أكبر مقاومة أي أكبر هبوط ضغط).
- يجب ملاحظة أن هبوط الضغط للسريان الجانبي في الإنتقالات كبير جداً مقارنة بهبوط الضغط للسريان المستقيم وعليه فيجب دائماً اختيار نهوض ذي هبوط ضغط قليل كما ذكرنا آنفاً.

(أ) المسار **A-G**

$$\therefore \Delta p_T(A-G) = 1.0\times 24 + 0.6\times V^2(A-B)\times C(B-C) + 0.6\times V^2(B-C)\times C(C-D)$$

$$+ 0.6\times V^2(C-G)\times C(D) + 0.6\times V^2(C-G)\times C(G)$$

$$\therefore \Delta p_T(A-G) = = 24 + 0.6\times 0.13\times(6.8)^2 + 0.6\times 0.14\times(6.2)^2 + 0.6\times 0.42(5.2)^2 + 0.6\times 1.0\times(5.2)^2$$

$$\Delta P_T = 24 + 3.6 + 3.23 + 6.8 + 16.2 = 53.8\ Pa$$

يمكن حساب الطول المكافئ للمسار على النحو التالي:

$$L_e = 24 + 3.6 + 3.23 + 6.8 + 16.2 = 53.8\ m$$

علماً بأن الطول الحقيقي للمسار هو $(24\ m)$. أي أن هبوط الضغط نتيجة وجود التركيبات يمكن تمثيله بطول إضافي للمسار يبلغ $\left(L_{e(Fittings)} = 53.8 - 24 = 29.8\ m\right)$

(ب) المسار **A-E**

$$\therefore \Delta p_T(A-E) = 1.0\times 19 + 0.6\times V^2(A-B)\times C(B-C) + 0.6\times V^2(C-E)\times C(C-E)$$

$$+ 0.6\times V^2(C-E)\times C(E)$$

$$= 19 + 0.6\times 0.13\times(6.8)^2 + 0.6\times 1.94\times(5.2)^2 + 0.6\times 1.0\times(5.2)^2 = 70.3\ Pa$$

$$L_e = 19 + 3.6 + 31.47 + 16.2 = 70.3\ m$$

(ج) المسار A-F

$$\therefore \Delta p_T(A-F) = 1.0\times 14 + 0.6\times V^2(B-F)\times C(B-F) + 0.6\times V^2(C-F)\times C(F)$$

$$= 14 + 0.6\times 1.62\times(5.2)^2 + 0.6\times 1.0\times(5.2)^2 = 56.5\ Pa$$

$$L_e = 14 + 26.28 + 16.2 = 56.5\ m$$

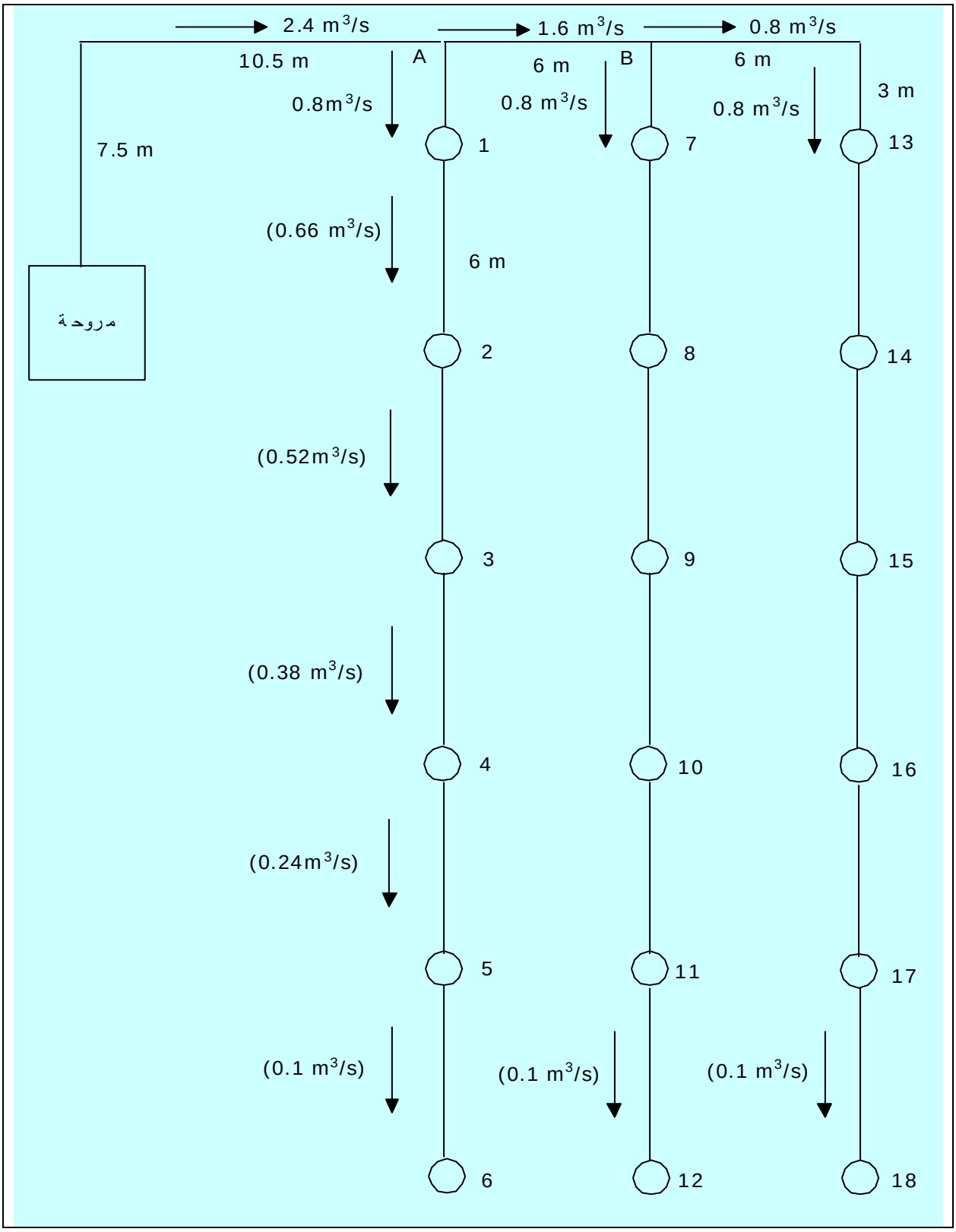
جدول الحل للمثال (4) لهبوط ضغط ثابت يساوي $\left(1.0\ {}^{Pa}/_{m}\right)$

م	المقطع / التركيبة	معدل السريان $\left({}^{m^3}/_{s}\right)$	القطر (cm)	السرعة $\left({}^{m}/_{s}\right)$	الطول المكافئ $(m)\ (L_e)$	هبوط الضغط $(Pa)\ (\Delta p_T)$
.1	A-B	1.2	47.5	6.8	7	7
.2	B-C	0.8	42	6.2	5	5
	انتقال- مستقيم	-	-	-	3.6	3.6
.3	C-G	0.4	32	5.2	12	12
	انتقال –مستقيم	-	-	-	3.23	3.23
	كوع	-	-	-	6.8	6.8
	مخرج- ناشر	-	-	-	16.2	16.2
.4	C-E	0.4	32	5.2	7	7
	انتقال- جانبي	-	-	-	31.47	31.47
	مخرج- ناشر	-	-	-	16.2	16.2
.5	B-F	0.4	32	5.2	7	7
	انتقال- جانبي	-	-	-	26.28	26.28
	مخرج- ناشر	-	-	-	16.2	16.2

دراسة حالة:

الشكل (4- 22) أدناه لنظام مجرى هواء مستطيل لنظام تكييف مركزي لأحد المكاتب العامة. إذا علم أن:

- كمية الهواء الكلي من المروحة $\left(2.4\ {}^{m^3}/_{s}\right)$.
- يوجد عدد (18) مخرجاً ، المخارج الثلاثة الأخيرة يطرد كل منها $\left(0.1\ {}^{m^3}/_{s}\right)$ وبقية المخارج يطرد كل منها $\left(0.14\ {}^{m^3}/_{s}\right)$.


2.4 m3/s
1.6 m3/s
0.8 m3/s
10.5 m
A
6 m
B
6 m
3 m
0.8m3/s
0.8 m3/s
0.8 m3/s
7.5 m
1
7
13
(0.66 m3/s)
6 m
مروحة
2
8
14
(0.52m3/s)
3
9
15
(0.38 m3/s)
4
10
16
(0.24m3/s)
5
11
17
(0.1 m3/s)
(0.1 m3/s)
(0.1 m3/s)
6
12
18

شكل (4- 22)

- أطوال المقاطع كما هي موضحة في الشكل.
- ضغط التشغيل لجميع المخارج في المسارات ($38\ Pa$).
- نسبة نصف القطر $R/W = 1.5$ للأكواع.
- أهمل هبوط الضغط في الإنتقالات بين مقاطع المجرى أي باستخدام النهوض في الشكل (4- 18).
- استعن بالجدول (4- 13).
- **احسب مستخدماً طريقة الاحتكاك المتساوي:**
- (أ) السرعة الابتدائية للمجرى، مساحة المقطع للمجرى، معدل الفقد نتيجة للاحتكاك من المروحة إلى الفرع الأول.
- (ب) أبعاد بقية المجرى والسرعات في المسارات.
- (ج) هبوط الضغط الكلي لمسار المجرى ذي أكبر مقاومة.
-
- (د) الضغط الاستاتيكي الكلي المطلوب عند مخرج المروحة.
- (هـ) قدرة المروحة.

الحل:

(أ) باستخدام طريقة الاحتكاك المتساوي لتصميم مجاري الهواء نختار سرعة الهواء التي لا تسبب ضوضاء وذلك حسب توصية جمعية مهندسي التدفئة والتبريد الأمريكية (ASHRAE) من الجدول (2- 13):

$$V = 7.5\ \ m/s$$

مساحة مقطع المجرى:

$$A = Q/V = 2.4/7.5 = 0.32\ \ m^2$$

باستخدام خريطة هبوط الضغط للمجرى المستطيل شكل (2- 20) عند كمية هواء $(2.4\ m^3/s)$ نختار مقاس المجرى الرئيس عند سرعة $(7.5\ m/s)$ ونوجد هبوط الضغط أيضاً كما يلي:

أبعاد المجرى المستطيل ($640 \times 500 \ mm$) أي ($W = 640 \ , \ H = 500 \ mm$) أو مجرى دائري مكافئ قطره ($658 \ mm$) وهبوط الضغط هو:

$$\Delta p = 0.975 \ {}^{Pa}/_{m}$$

(ب) باستخدام الخريطة عند فاقد ضغط $\Delta p = 0.975 \ {}^{Pa}/_{m}$ ومعدلات السريان لبقية الفروع نوجد أبعاد بقية المجرى والسرعات على النحو التالي:

م	مقطع المجرى	معدل السريان (m^3)	المساحة (m^2)	أبعاد المجرى $(W \times H)\,(mm)$	السرعة $({}^{m}/_{s})$
.1	To A	2.4	0.32	640×500	7.5
.2	A-B	1.6	0.234	625×375	6.8
.3	B-13	0.8	0.14	560×250	5.7
.4	13-14	0.66	0.122	540×225	5.4
.5	14-15	0.52	0.11	525×200	5.0
.6	15-16	0.38	0.08	400×200	4.7
.7	16-17	0.24	0.06	400×150	4.1
.8	17-18	0.1	0.03	200×150	3.3

ولتسهيل عملية تصنيع المجري كما أشرنا يمكن تعديل الأبعاد كما في الجدول التالي:

م	مقطع المجرى	معدل السريان (m^3)	المساحة (m^2)	أبعاد المجرى $(W \times H)\,(mm)$	السرعة $({}^{m}/_{s})$
.1	To A	2.4	0.32	640×500	7.5
.2	A-B	1.6	0.234	470×500	6.8
.3	B-13	0.8	0.14	280×500	5.7
.4	13-14	0.66	0.122	280×435	5.4
.5	14-15	0.52	0.11	280×392	5.0
.6	15-16	0.38	0.08	280×285	4.7
.7	16-17	0.24	0.06	280×214	4.1
.8	17-18	0.1	0.03	280×107	3.3

لاحظ أننا استخدمنا العلاقة بين المساحة والأبعاد وأن أكبر قيمة للنسبة الباعية هي (2.27) والتي تعتبر مناسبة جداً.

(ج) لاحظ أن المسارين A-6 , B-12 لهما نفس أبعاد المسار B-18 .

وواضح أن المقطع B-18 له أكبر مقاومة. نستخدم الجداول الخاصة بالتركيبات لإيجاد قيم معامل الفقد (C) للكوع (من المروحة إلى A) والكوع (من B إلى 18) ، نستخدم أكواعاً مثنية في مجرى مستطيل شكل (2- 7).

بالنسبة للكوع (من المروحة إلى A):

$$R/W = 1.5 \quad , \quad A = 565 \times 565 \ mm^2$$

$$H/W = 565/565 = 1.0$$

$$C = 0.17$$

بالنسبة للكوع (من B إلى 13):

$$R/W = 1.5 \quad , \quad A = 565 \times 248 \ mm^2$$

$$H/W = 248/565 = 0.44$$

$$C = 0.2$$

هبوط الضغط الكلي للمسار (To A-B-18):

$$\therefore \Delta p_T(A-B-18) = 0.975 \times 63 + 0.6 \times V^2(To\ A) \times C(A) + 0.6 \times V^2(B-13) \times C(B-13)$$

$$= 61.425 + 0.6 \times 0.17(7.5)^2 + 0.6 \times 0.2 \times (5.7)^2$$

$$= 61.425 + 5.738 + 3.899$$

$$= 71.1 \ Pa \ (7.1 \ mm.w)$$

(د) الضغط الاستاتيكي الكلي المطلوب عند مخرج المروحة = الضغط للمخارج + الفقد في المجرى:

$$\therefore p_s(Fan) = 71.1 + 38 = 109.06 \ Pa$$

ولكن يجب الأخذ في الاعتبار ميزة الكسب في الضغط الاستاتيكي للمروحة نتيجة لنقصان السرعة بين المقطع الأول والمقطع الأخير للمجرى .وعليه فإن:

الكسب الاستاتيكي نتيجة لنقصان السرعة يمكن حسابه بالمعادلة:

$$0.75 \times 0.5\rho\left[V^2(Initial) - V^2(Final)\right]$$

حيث إن :

السرعة عند أول مقطع للمجرى: $V(Initial)$

السرعة عند آخر مقطع للمجرى: $V\,(Final\,)$

كثافة الهواء: $\rho = 1.2 \quad kg/m^3$

وعليه يصبح الضغط الاستاتيكي الكلي عند مخرج المروحة =

الضغط للمخارج + الفقد في المجرى - الكسب نتيجة للنقصان في السرعة

$$\therefore p_s\,(Fan\,) = 109\,.06 - 0.75 \times 0.6\left[(7.5)^2 - (3.3)^2\right]$$
$$= 109\,.06 - 19\,.74 = 88\,.65\ Pa \quad (8.87\ mm\,.w)$$

لاحظ أنه إذا زادت السرعة أي أنها كانت في المجرى أعلى من مخرج المروحة فإن الناتج يكون فقداً وبالتالي يتم إضافته للضغط الاستاتيكي الكلي لمروحة.

(د) قدرة المروحة:

$$P_o = p_{To} \times \dot{Q} = (88\,.65 + 0.6V^2) \times 2.4 = [88\,.65 + 0.6\,(7.5)^2] \times 2.4 = (88\,.65 + 33\,.75) \times 2.4$$

$$= 293\,.76\ watts \approx 0.3\ kW$$

وبفرض كفاءة المروحة $\eta_{Fan} = 0.7$ تصبح القدرة اللازمة للمروحة:

$$P_{Fin} = \frac{P_{Fo}}{\eta_{Fan}} = 0.42\ kW = 0.56\ HP$$

9- **أنظمة الهواء الراجع**: (Return air systems)

يسري الهواء الراجع من المجاري الفرعية إلى المجرى الرئيس ومنه إلى المروحة، وعادة تستخدم طريقة الاحتكاك المتساوي لتصميم مجاري الراجع ذات السرعات المنخفضة والعالية. يفضل اختيار مجاري الراجع القصيرة والتصميم لفاقد احتكاك لكل متر طولي مقداره $(0.65\ Pa)$ أو (80%) من قيمة فاقد الاحتكاك لمجرى التغذية وبنفس المبدأ في تصميم التغذية

10- **عزل مجاري الهواء :** (Duct insulation)

تستخدم العوازل الحرارية للمجاري التي تحمل هواء ساخنا أو باردا لتقليل الفقد في الحرارة بالإضافة إلى أن العازل يتم تغطيته بحاجز بخار (Vapor barrier) لمنع تكثف الماء على أسطح المجاري الباردة . يكون حاجز البخار عادة من رقائق الألمنيوم (Aluminum foil) كما هو موضح في الشكل (4- 23). الليف الزجاجي (Fiber glass) أو أي مادة أخرى مشابهة ذات مقاومة حرارية عالية يمكن أن تستخدم كعازل. يكون العازل دائما في شكل بطانية أو

ألواح صلبة تستخدم الألواح الصلبة عندما تكون مجاري الهواء مكشوفة لإعطائها المظهر الخارجي الجيد والمتانة اللازمة لمقاومة العوامل الخارجية كما هو موضح في الشكل (4-24). ولذا فهي تكون عادة عالية التكلفة. يتم عادة تزويد مجاري الهواء ببطانة من الداخل لامتصاص الصوت وفي هذه الحالة فإن البطانة الصوتية تعمل أيضا كعازل للحرارة .

شكل (4- 23): مجاري هوائية معزولة وحاجز البخار من الاليمنيوم .

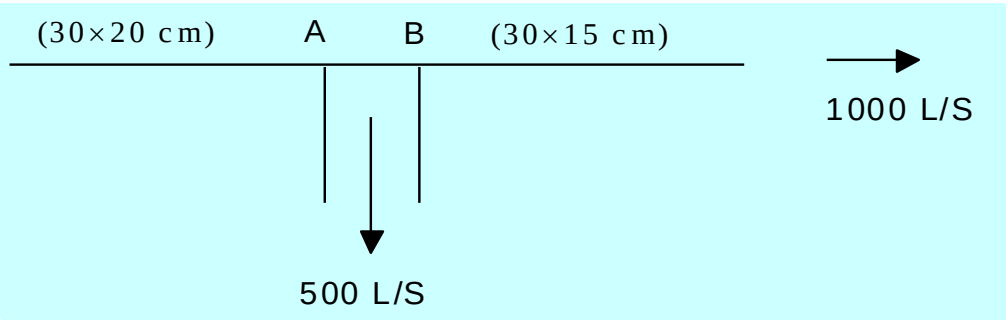
شكل (4- 24): عازل من مادة الأسبستوس.

تمارين:

1. مجرى هواء مستطيل المقطع أبعاده ($60 \times 36\ cm$) يسري فيه هواء بمعدل $\left(2500\ {}^{L}/_{S}\right)$. اجرِ اختباراً لقياس الضغط الاستاتيكي بواسطة مانوميترين وضعا عند نقطتين في المجرى المسافة بينهما ($24\ m$) . إذا كانت قراءتهما هي ($525\ Pa$) ، ($475\ Pa$) . وضح هل هذا المجرى يقوم بتغذية الكمية المطلوبة من الهواء ؟

2. احسب فاقد الضغط الكلي في الجزء المستقيم لفرع (T) $\left(90^{\circ}\right)$ أسطواني المقطع إذا كانت السرعة عند المصعد (c) $\left(10\ {}^{m}/_{s}\right)$ ، عند المهبط (b) $\left(7.5\ {}^{m}/_{s}\right)$.
احسب أيضاً فاقد الضغط الكلي بين الجزء المستقيم والفرع إذا كانت نسبة المساحة (A_b/A_c) تساوي (0.6).

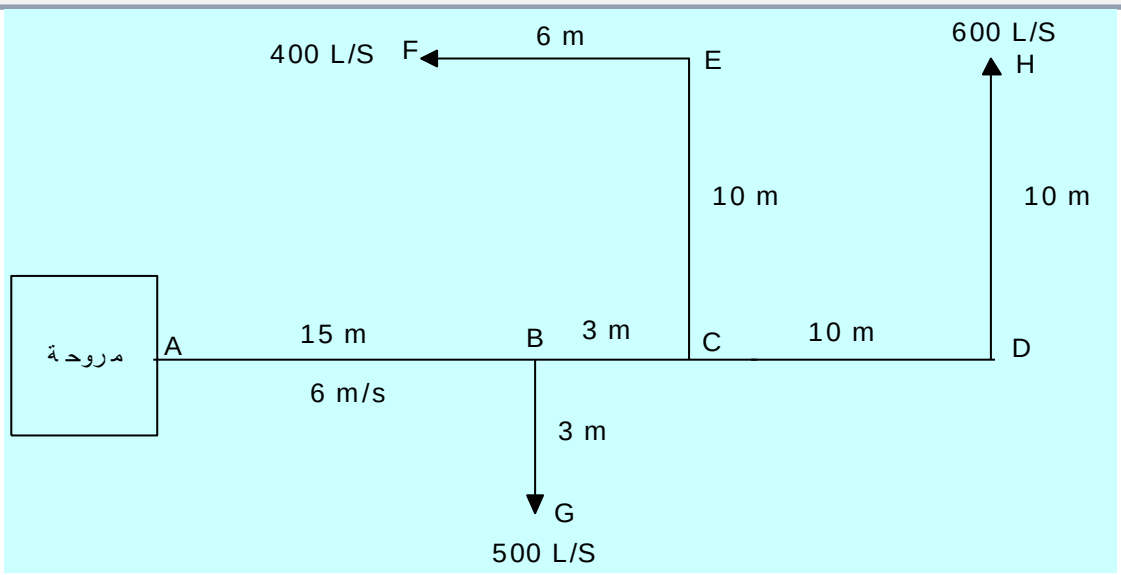
3.



شكل (4- 25)

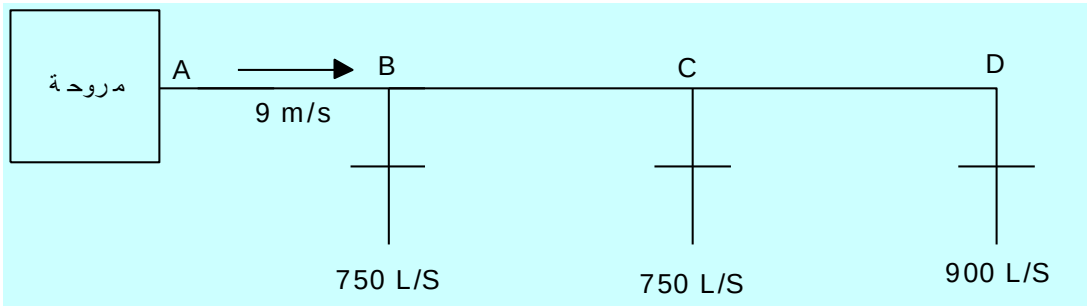
أوجد التغير في الضغط الاستاتيكي من (A) إلى (B) في المجرى الرئيسي للوصلة الموضح في الشكل (4- 25) . افرض أن معامل الكسب يساوي (0.75).

4. الشكل (4- 26) لمجرى تغذية لحيز مكتبي . حدد مقاس المجرى بطريقة الاحتكاك المتساوي وعين انخفاض الضغط . افرض أن أكبر عمق للمجرى هو ($30\ cm$) وأن كل نهوض المجرى عبارة عن نهوض مستطيلة مستقيمة .



شكل (4- 26)

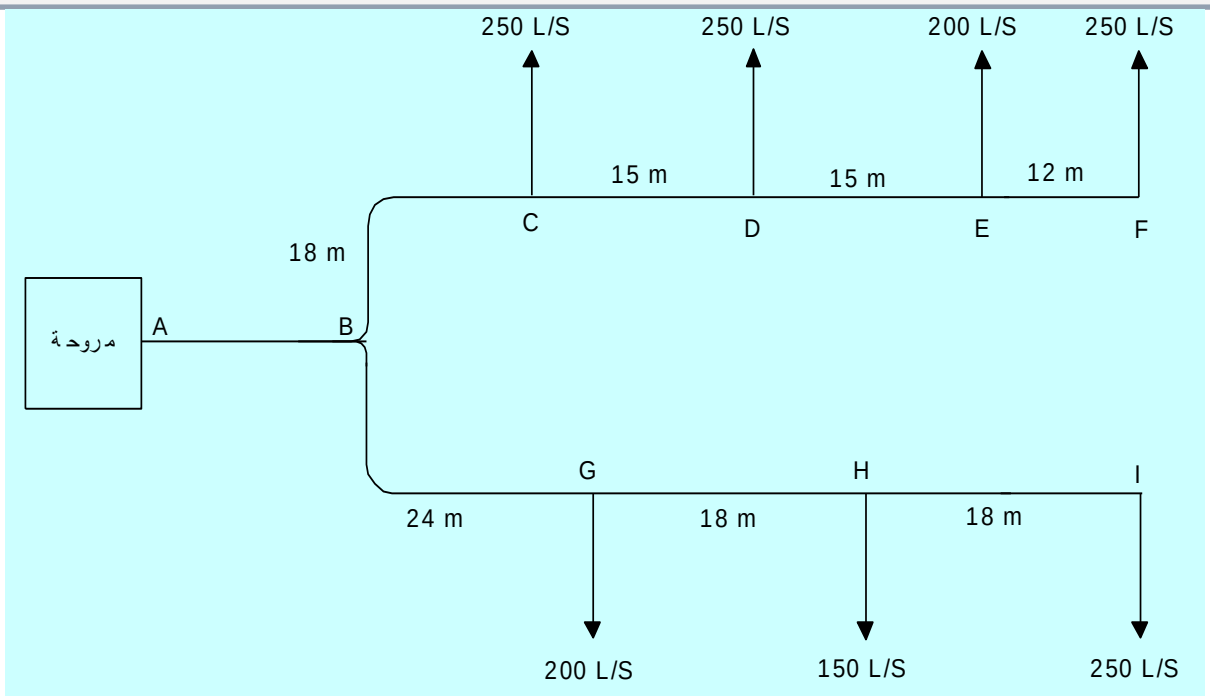
5. صمم مجاري الهواء المستطيلة في النظام الموضح في الشكل(4- 27) مستخدماً طريقة الاحتكاك المتساوي . أوجد أيضاً الأبعاد إذا كان المجرى دائرياً.



شكل (4- 27)

6. (أ) أوجد أبعاد جميع مقاطع المجرى الموضح في الشكل (4- 28) مستخدماً طريقة الاحتكاك المتساوي إذا كان النظام لمبنى صناعي ويستخدم مجاري مستطيلة .

(ب) احسب هبوط الضغط في نظام المجرى إذا كان هبوط الضغط في المخارج (25 *Pa*) . افرض أشكالا مناسبة للأكواع والإنتقالات .


250 L/S
250 L/S
200 L/S
250 L/S
15 m
15 m
12 m
C
D
E
F
18 m
مروحة
A
B
G
H
I
24 m
18 m
18 m
200 L/S
150 L/S
250 L/S

شكل (4- 28)

الوحدة الخامسة

أنظمة توزيع الماء

الوحدة الخامسة : أنظمة توزيع الماء

Water Distribution Systems

الهدف العام: :

التعرف على مواصفات الأنابيب والتركيبات وكيفية اختيار الصمامات وخزانات التمدد.

الأهداف التفصيلية: عندما تكمل هذه الوحدة تكون قادراً على:

1. معرفة مواصفات الأنابيب المستخدمة في دوائر الماء لأجهزة التكييف المركزي.
2. معرفة أنواع التركيبات لدوائر الماء وتحديد الطول المكافئ لها.
3. معرفة أنواع الصمامات ووظيفة كل منها وكيفية اختيارها.
4. معرفة وظيفة خزان التمدد وكيفية تصميمه لنظام التكييف المركزي.

الوقت المتوقع للتدريب:

4 ساعات دراسية.

الوحدة الخامسة : أنظمة توزيع الماء
Water Distribution Systems

1 - مقدمة (Introduction)

في هذه الوحدة سوف يتم التطرق لدراسة مواصفات الأنابيب المستخدمة في أنظمة توزيع الماء للتكييف وطرق اختيارها وتركيبها بالصورة الصحيحة والتعرف على مشاكل تمدد الأنابيب و كيفية تعليقها وتثبيتها ومعالجة اهتزازها بالإضافة إلى دراسة التركيبات المختلفة والصمامات المستخدمة وكيفية تحديد أنواع وسعات خزانات التمدد لنظم توزيع الماء للتكييف.

2 - المفاهيم الأساسية لأنظمة توزيع الماء:

يعتبر توزيع الماء بواسطة الأنابيب ذا أهمية قصوى بالنسبة لأنظمة التكييف المركزي في حالتي التدفئة والتبريد، و يوجد نوعان من أنظمة توزيع الماء: النظام المفتوح (Open-Loop System) والنظام المغلق (Closed-Loop System)، و يتعرض الماء للهواء الجوي في النظام المفتوح كما هو الحال بالنسبة لبرج التبريد (Cooling Tower) وفيه يزود النظام بمعدات كالصمامات (المحابس)،الفلاتر،الوصلات،مضخة الماء ...الخ، أما في النظام المغلق فيزود بإضافة إلى المعدات السابقة بأخرى كصمامات التحكم وأجهزة قياس معدل سريان الماء وخزان التمدد. يتكون نظام توزيع الماء من جزءين هما:

- مكونات حرارية وتشمل المصدر كمثلج المياه (Chiller) أو المرجل (Boiler) والملفات(تبريد أو تسخين).
- مكونات مائية وتشمل نظام التوزيع ، المضخة وخزان التمدد.

3 - مواصفات وخامات الأنابيب : (Specifications of Piping Materials)

أكثر الخامات استخداما مع الأنابيب هي:

- الحديد الصلب (Steel).
- الحديد المطاوع (Wrought iron).
- النحاس (Copper) (المطاوع والصلد).

اختيار المواد المذكورة يعتمد على الخدمة التي يقوم بها الأنبوب والتي تشمل:

- خواص المائع المحمول بواسطة الأنبوب.
- درجة الحرارة المائع.
- ضغط المائع.
- التعرض للأكسدة والصدأ.

بالإضافة إلى أن التكلفة الابتدائية وتكلفة الصيانة والوفرة تؤثر في عملية اختيار الخام وعليه فإن المهندس المصمم يجب أن يولي ذلك الكثير من الاهتمام .

الخواص الفيزيائية لأنابيب الحديد والنحاس تم وضعها بواسطة الجمعية الأمريكية لاختبار المواد (ASTM) (American Society of Testing Materials) .

كما هو واضح من الجدول (5- 1) الخاص بالاستخدامات المختلفة لخامات الأنابيب نجد أن دورات الماء في أنظمة التكييف المركزي تستخدم الحديد الأسود (الاسم التجاري) حيث يرمز لسمك الأنبوبة برقم الأنبوبة (Schedule Number) مثل (20, 30, 40, 80) وهكذا واختيار هذا الرقم يعتمد على الضغط ودرجة حرارة الخدمة . في أنظمة الماء للتكييف المركزي (أنابيب الماء البارد وأنابيب الماء الساخن) يتم عادة استخدام الأنابيب (Schedule Number 40) أو الحديد الأسود متوسط المرتبة (BS 1387) (Medium grade black steel) .

الخدمة		الأنبوبة	التركيبات
وسائط التبريد R134-a, R22	خط السحب خط السائل خط الطرد	نحاس صلد حديد	نحاس مطاوع ، نحاس أصفر مطاوع حديد مطاوع
وسائط التبريد النشادر(R717)	خط السحب والسائل والطرد	حديد	حديد
ماء مثلج	كل الخطوط	حديد أسود أو مجلفن نحاس صلد	حديد مجلفن أو زهر نحاس مطاوع أو نحاس أصفر مطاوع
ماء ساخن أو بخار	كل الخطوط	حديد أسود نحاس صلد	حديد زهر ، نحاس أصفر مطاوع ، نحاس مطاوع

جدول (5- 1) يوضح الاستخدامات المختلفة لخامات الأنابيب وتركيبه.

القطر الاسمي (mm)	القطر الداخلي (mm)	كتلة الماء لكل متر طولي (kg/m)
10	12.4	0.121
15	16.1	0.366
25	27.3	0.585
32	36.0	1.018
40	41.9	1.378
50	53.0	2.206
65	68.7	3.706
80	80.7	5.113
90	93.15	6.813
100	105.1	8.673
125	129.95	13.259
150	155.4	18.961

جدول (5- 2): خواص أنابيب الحديد الأسود عند درجة حرارة $10^{\circ}C$.

يجب ملاحظة أن أقطار الأنابيب يرمز لها بالمقاس القياسي (Nominal size) والتي لا تساوي بالضبط القطر الداخلي أو القطر الخارجي للأنبوب. الأنابيب النحاسية يرمز لها بالحروف K , L, M النوع L هو الأكثر استخداما في الأنظمة المائية التي تستخدم النحاس .

4 - **اختيار الأنابيب:** (Pipe Selection)

يعتمد قرار الاختيار بين أنابيب الحديد أو النحاس في المقام الأول على التكلفة، فالنحاس أكثر تكلفة من الحديد ولكنه في المقاسات الصغيرة تكون تكلفة عمالة النحاس دائما أقل وعليه فإننا نجد دائما أن المنشآت الكبيرة تستخدم الحديد ، والمنشآت الصغيرة تستخدم النحاس.

تمتاز أنابيب النحاس على أنابيب الحديد بما يلي:

- مقاومة الاحتكاك للنحاس أقل من الحديد مما يعني أحجاما صغيرة للمضخات واستهلاكا أقل للطاقة
- النحاس أقل تعرضا لمشاكل الأكسدة وتكون القشور من الحديد.

ولكن في الجانب الآخر نجد أن الحديد أقوى من النحاس وعليه فإننا نجد في بعض الأحيان أن الأنابيب الكبيرة تكون من الحديد ، بينما الفروع الصغيرة للوحدات تكون من النحاس. وفي هذه الحالة يلزم وضع جلب من البلاستيك لعزل النحاس عن الحديد ، وذلك لتفادي حدوث صدأ جلفاني (نتيجة للفعل الإلكتروليتي) عند تلامس المعدنين.

في أنظمة الماء المفتوحة كتلك التي تستخدم أبراج التبريد فإنها تكون عرضة لتكون الصدأ نتيجة للأكسدة إذا استخدم الحديد الأسود وعليه فإنه في كثير من الأحيان يستخدم الحديد المجلفن في هذه التطبيقات. الحديد الأسود يمكن تغطيته بطبقة من سبيكة القصدير لمقاومة الأكسدة، ولكن في بعض التطبيقات التي يحدث فيها صدأ بصورة خطيرة فإن الحديد المجلفن يصبح غير كاف، ويستخدم في هذه الحالة الحديد المطاوع أو الحديد الزهر، ولكنهما بالطبع باهظا التكلفة.

5 - تمدد الأنابيب: (Expansion of piping)

جميع خطوط الأنابيب في أنظمة التكييف المركزي تتعرض للتغيير في درجة الحرارة ولذا فهي تتمدد وتتكمش وعليه فإن جميع أجزاء الأنابيب التي تكون عرضة لذلك يجب أن تصمم لامتصاص الحركة الناتجة. الجدول (5- 3) يوضح التمدد الحراري الخطي لأنابيب النحاس والحديد.

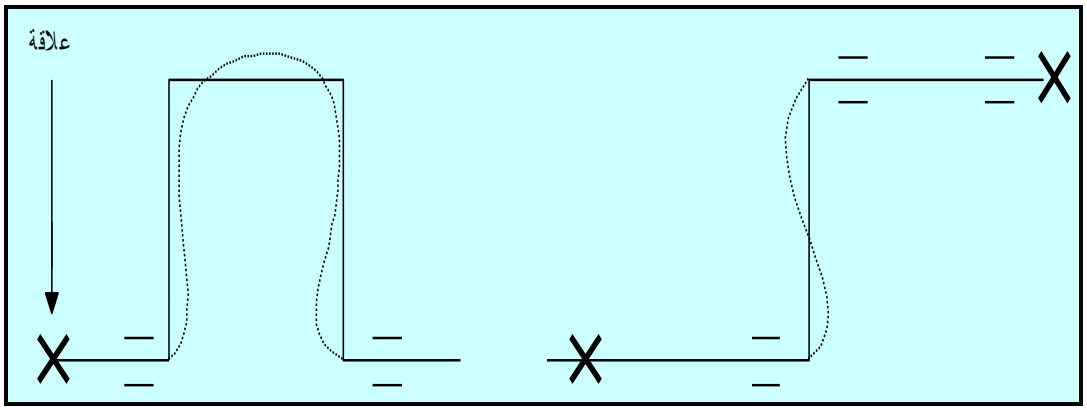
مدى تغيردرجة الحرارة (°C)	أنابيب نحاس	أنابيب حديد
0	0	0
25	0.46	0.3
50	0.95	0.64
75	1.43	0.97
100	1.92	1.3
125	2.4	2.1
150	2.92	2.0
175	3.4	2.34
200	3.94	2.75
225	4.46	3.13
250	7.52	3.51

جدول (5- 3) التمدد الحراري الخطي لأنابيب النحاس والحديد mm/m

توجد ثلاث طرق يمكن استخدامها لامتصاص التمدد والانكماش في الأنابيب وهي :

5 ـ 1 حلقات وفروع تمدد (Expansion Loops & Offsets)

كما هو موضح في الشكل (5- 1) فإن حلقات وفروع التمدد تجعل الأنبوب ينحني عند الحلقة أو الفرع وبالتالي يتم امتصاص تأثير التمدد أوالانكماش على شبكة توزيع الماء ووتركيباتها.



(ا): فرع تمدد (offset) (ب): حلقة (loop)

شكل (5- 1): حلقات وفروع تمدد

5 - 2 وصلات تمدد (Expansion Joints)

يوجد هنالك نوعان من وصلات التمدد هما:

- النوع الانزلاقي (Slip type).
- النوع المنفاخي (Bellows type) .

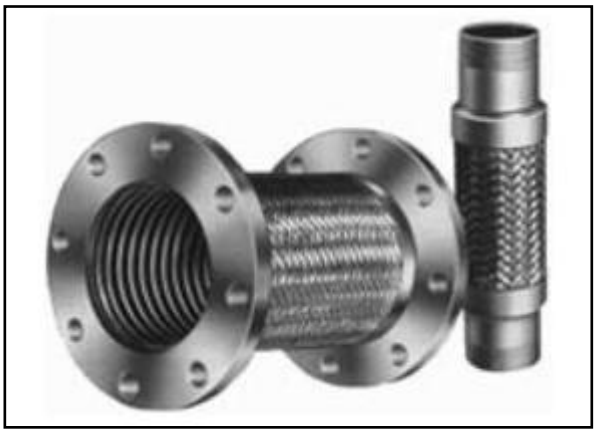
من عيوب النوع الانزلاقي أنه يحتاج إلى تزييت وتغطية الأمر الذي يتطلب تركيبه في مكان يمكن الوصول إليه . وكذلك يحتاج إلى موجهات لمنع انحناء الأنبوب. النوع المنفاخي يناسب الأنابيب القصيرة ولكنه أيضا يتطلب موجهات لحمايته من الكسر. الشكل (5- 2) يوضح بعض وصلات التمدد.

(أ): النوع الانزلاقي (Slip type) (ب): النوع المنفاخي (Bellows type)

شكل (5- 2): وصلات تمدد (Expansion joints).

5 3 - **الخرطوم المرن** (Flexible Hose)

يستخدم الخرطوم المرن لامتصاص التمدد في الأنابيب الصغيرة فقط ولا يوصى باستخدامه مع الأنابيب الكبيرة ويجب أن يتم تركيبه عموديا على حركة الأنبوب. الشكل (5- 3) يوضح الخرطوم المرن.



شكل (5- 3): خراطيم و وصلات مرنة

6 **حوامل ومثبتات الأنابيب:** (Piping Supports & Anchors)

تزود الأنابيب بحوامل وعلاقات (Hangers) لحمل وزن الأنبوب، التركيبات، الصمامات والماء داخلها، وكذلك العازل مما يجعل الأنبوب في وضع مستوي. الشكل (5- 4) يوضح أنواع الحوامل المستخدمة. .تستخدم العلاقات من نوع اللف (Roll-type) عند تعرض الأنبوب إلى تمدد أو انكماش بصورة كبيرة، و يتم تثبيتها على السقف قبل صب الخرسانة وفي هذه الحالة يجب على مهندس التكييف التنسيق مع مهندس الإنشاءات. أما إذا احتاجت الأنابيب إلى علاقات إضافية بعد صب السقف فيمكن في هذه الحالة استخدام آلة لثقب الخرسانة ويتم بعدها تثبيت العلاقات.

7 - **الاهتزاز في الأنابيب**: (Vibration of piping)

يتسبب اهتزاز الأنابيب الذي يكون مصدره عادة المضخات والضواغط في التأثيرات السالبة التالية:

- تحطم الأنابيب الذي يحدث كسراً في الوصلات وبالتالي تسرب المائع بداخلها.

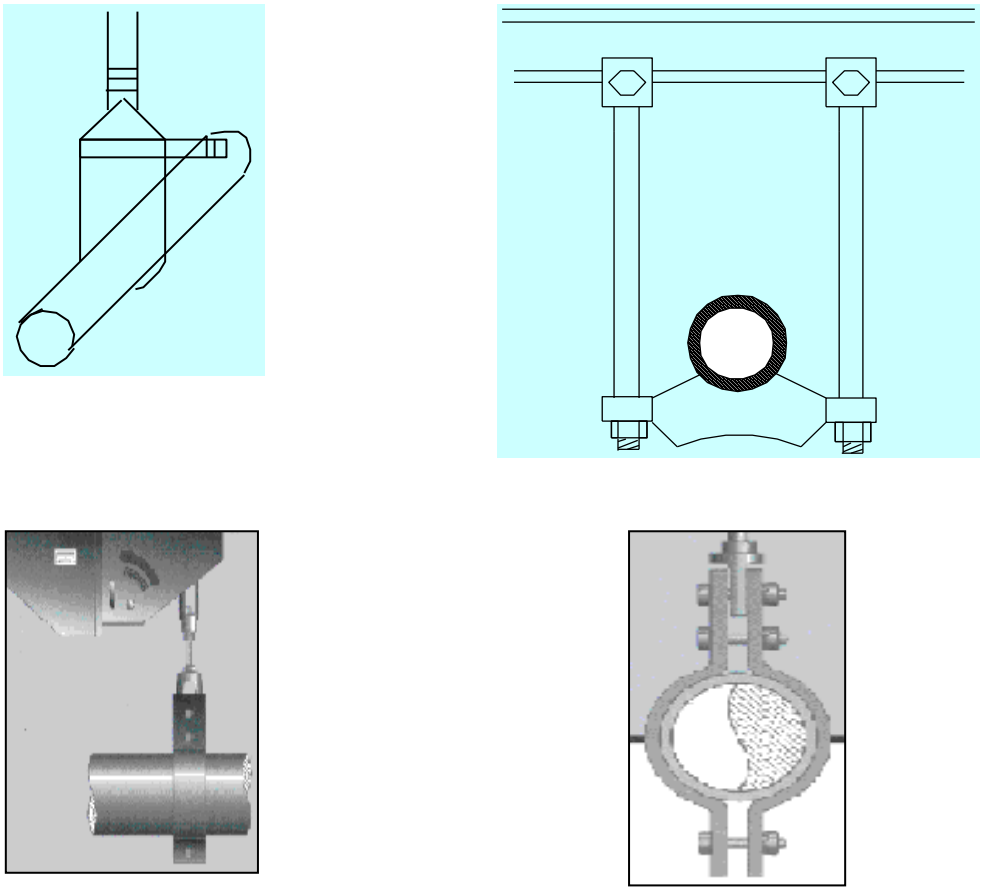
- حدوث الضوضاء داخل المبنى وعليه يوصى دائما بضرورة تقليل تلك الآثار ويتم ذلك على النحو التالي:

7 - 1 **استخدام عوازل الاهتزاز** (Vibration isolators)

وذلك باستخدام مواد حشو مع العلاقات أو في بعض الحالات التي يكون فيها الاهتزاز شديدا يمكن استخدام علاقات زمبركية (ياي) (Spring hangers) كما هو موضح في الشكل (5- 5).

7 - 2 **استخدام خراطيم أو وصلات مرنة** (Hoses and flexible joints)

يستخدم الخرطوم المرن أيضا كوسيلة لامتصاص الاهتزازات الناتجة عن سرعة الماء في الأنابيب. كما يمكن استخدام الوصلات المرنة لنفس الغرض.



شكل (5- 4): حوامل وعلاقات الأنابيب.

شكل (5- 5): علاقة زمبركية (ياي).

8 - التركيبات وطرق توصيلها مع الأنابيب: (Fittings & Joining Methods For Piping)

تشتمل تركيبات الأنابيب على الأكواع (Elbows) ، التيهات (Tees)، الأنبال (Nipples)، اليونيونات (Unions)، الجلب (Couplings)، الجلب بسنة داخلية وخارجية (Bushing)، الشفات (Flanges) كما هو موضح في الشكل (5- 6). يتم توصيلها مع الأنابيب الحديدية إما عن طريق القلاووظ أو عن طريق اللحام. التركيبات التي يتم ربطها تصنع عادة من الحديد الزهر أو الحديد المطاوع.

تكون الأكواع دائما مسئولة عن نسبة كبيرة من هبوط الضغط في الأنابيب وعليه فيوصى باستعمال أكواع ذات نصف قطر كبير متى أمكن ذلك . وفي حالة الحاجة لاستخدام الأكواع لتفادي العوائق فيوصى باستعمال أكواع (45°) بدلا عن أكواع (90°).

يجب أن يتم تركيب التيهات (Tees) لتفادي حدوث اضطراب في سريان الماء الأمر الذي يتسبب في زيادة هبوط الضغط وإحداث اهتزاز في الأنابيب ويجب مراعاة في حالة تركيب أكثر من تي واحد في الخط، وأن تكون المسافات بين التيهات متباعدة لتفادي حدوث الاضطراب في سريان الماء .

تساعد اليونيونات والشفات المستخدمة في توصيل الأنابيب في عمليات خدمة وصيانة الأجهزة والمعدات.

التركيبات التي يتم توصيلها مع أنابيب المياه عن طريق الربط بالأسنان تستخدم عادة مع أنابيب أقطارها تتراوح بين (50 – 80 *mm*) بينما تستخدم وصلات اللحام مع الأقطار الكبيرة وذلك لتقليل تكلفة العمالة والخامات .

(أ): كوع 90^o
(Elbow)

(ب): كوع 45^o (Elbow)

(ج): تي (Tee)

(د): نبل
(Nipple)

(هـ): يونيون
(Union)

(و): جلبة
(Coupling)

(ز):وصلة ازدواج
(Bushing)

(ح): تي بشفة (Flanged T)

شكل (5- 6): أنواع تركيبات الأنابيب (Pipe fittings)

9 أنواع الصمامات وتركيبها : (Valves Types & Construction)

9 1 خامات الصمامات: (Valves materials)

تكون خامات الصمامات عادة إما كلها من البرونز أو الجسم من الحديد والأجزاء الأخرى من البرونز، و في حالة الضغط العالي تستخدم الصمامات من الحديد الصلب.

9 2 تصنيف الصمامات: (Valves classification)

تصنف الصمامات حسب وظائفها إلى ثلاث مجموعات وهي:

(أ) صمامات إيقاف السريان: (Stopping Flow valves)

تعمل الصمامات في هذه المجموعة على إيقاف السريان وتستخدم لعزل الأجهزة لأغراض الصيانة مثال الصمامات البوابية (Gate valves) هذه الصمامات لا تحدث فقدا كبيرا في الضغط.

(ب) صمامات تنظيم معدل السريان: (Regulating Flow Rate valves)

تستخدم هذه الصمامات لضبط معدل السريان يدويا خلال الأجهزة والدوائر المختلفة مثال ذلك الصمامات الكروية (Globe valves)، صمامات الزاوية (Angle valves)، صمامات السد (Plug valves)، صمامات الإبرة (Needle valves) صمامات الخنق ذات القرص (Butterfly valves) .

(ت) صمامات تحديد اتجاه السريان: (Limiting Flow Direction valves)

تسمح هذه الصمامات بالسريان في اتجاه واحد فقط يطلق عليها صمامات عدم الرجوع (Check valves). ، وفي أنظمة المياه ربما يحدث سريان عكسي للماء عند إيقاف النظام خصوصا في حالة وجود ارتفاع إستاتيكي للماء وقد يتسبب ذلك في إتلاف الأجهزة أو تفريغ الخط من الماء.

9 3 - تركيب الصمام: (Valve Construction)

يساعد فهم كيفية تركيب الصمام في اختيار التطبيق المناسب، وكذلك معرفة كيف يمكن صيانته ومن أهم أجزاء المكونة للصمام نذكر:

(أ) القرص أو الإسفين: (Disc or Wedge)

هو الجزء الذي يقوم بإيقاف السريان. الصمامات البوابية تستخدم عادة قرصاً صلباً. الصمامات الكروية تكون أقراصها على أشكال خروطية، أو سدادة، وذلك لتقوم بعملية خنق الماء.

(ب) الساق: (Stem)

يقوم الساق برفع وإنزال القرص.، وفي كثير من التطبيقات لا يؤثر عمل نوع الساق على التحكم في المائع ولكن تصميم الساق يعتبر هاما عند الحاجة إلى مؤشر تحديد موضع الصمام أو عندما يكون ارتفاع الغرفة حرجا.

9 4 أنواع الصمامات: (Valves Types)

يمكن تقسيم الصمامات المستخدمة في مجال التكييف المركزي إلى ثلاث أقسام :

- صمامات بوابية
- صمامات كروية
- صمامات عدم الرجوع

(أ) الصمامات البوابية: (Gate Valves)

كما سبق ذكره فإن الصمامات البوابية تستخدم كصمامات إيقاف ومن مميزاتها أنها أقل إعاقة واضطراباً للسريان وبالتالي أقل هبوطا للضغط من الصمامات الأخرى، أما الصمامات البوابية يجب أن لا تستخدم في خنق السريان، وعندما يكون الصمام مفتوحا إلى الآخر فإن القرص يكون بالكامل خارج مسار السريان وبالتالي يعطي مساحة سريان منتظمة خلال الصمام.

يتوفر قرص الصمام في عدة أشكال:

❖ **القرص الإسفيني الصلب:** (Solid Wedge Disc)

يمتاز هذا القرص بالمتانة وبساطة التصميم كما هو موضح في الأشكال (5- 7) ، (5- 8). وهذه الصمامات يمكن تركيبها في أي مكان وتناسب جميع الاستخدامات ما عدا تلك التي يتعرض فيها الصمام لتغيرات كبيرة في درجة الحرارة.

❖ **القرص الإسفيني المنفصل:** (Split Wedge Disc)

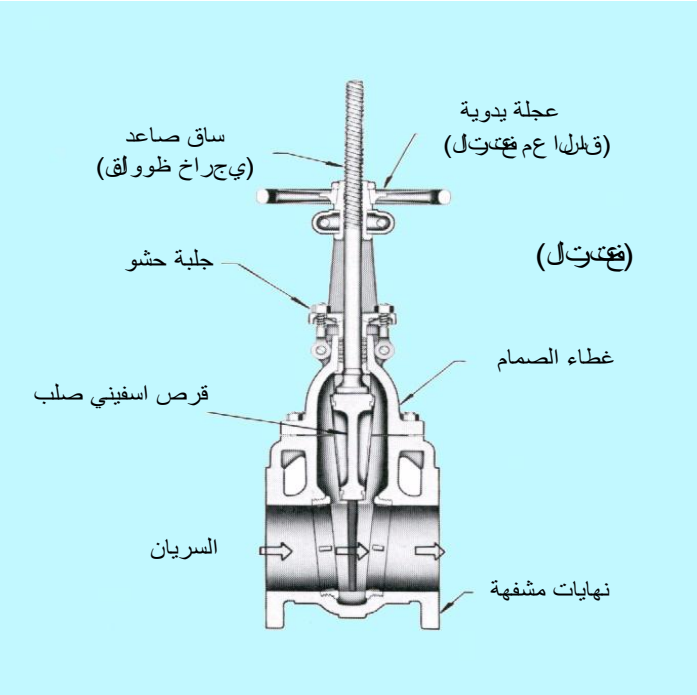
الشكل (5- 9) يوضح هذا النوع من الأقراص ويستخدم لمنع الالتصاق ولكنه عرضة للاهتزاز.

❖ **القرص الإسفيني المرن:** (Flexible Wedge Disc)

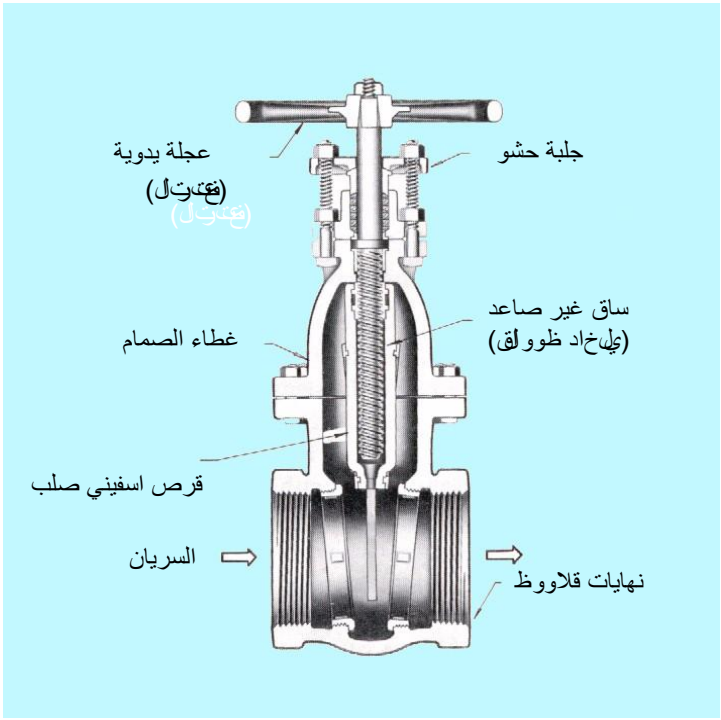
الشكل (5- 10) يوضح هذا النوع ويستخدم أساسا في التطبيقات ذات درجات الحرارة والضغوط العالية، وهو صلب في المنتصف ومرن من الخارج وهذا التصميم يساعد في منع الالتصاق ويجعل الصمام يفتح بسهولة تحت جميع الظروف.

❖ **الأقراص المتوازية:** (Parallel Disc)

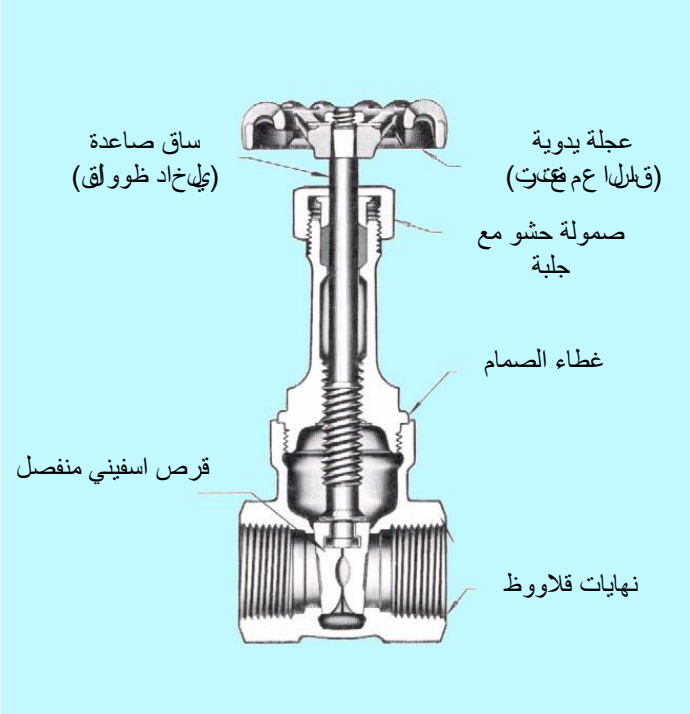
الشكل (5- 11) لصمام بإسفين بين أقراص متوازية مما يقلل احتمال تلف قواعد الإسفين. وتعمل حركة الأقراص المتوازية على تنظيف أسطح الصمام الداخلية ومنع المواد الغريبة من الالتصاق بين القرص والقواعد، وهذا النوع من الصمامات عرضة للتسريب إذا استخدم مع البخار.



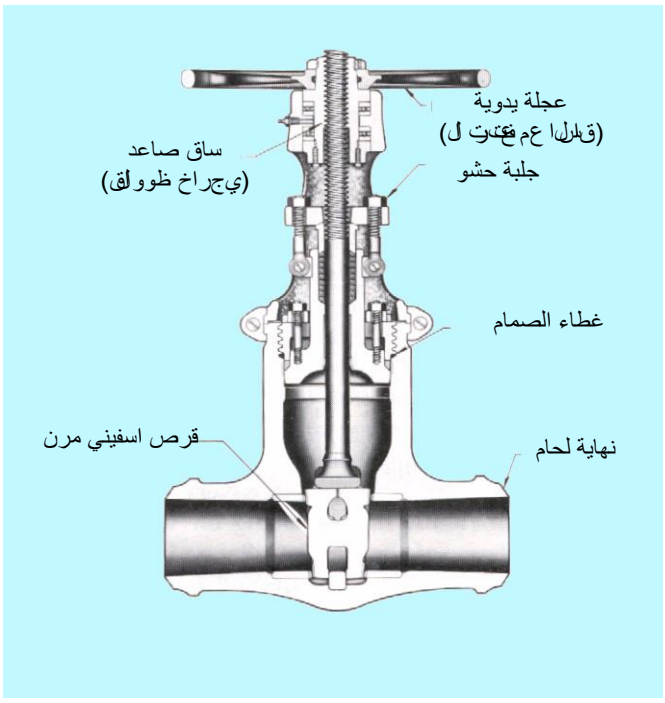
شكل (5- 7): صمام بوابي ذو قرص إسفيني صلب وساق صاعدة مع قلاووظ خارجي.



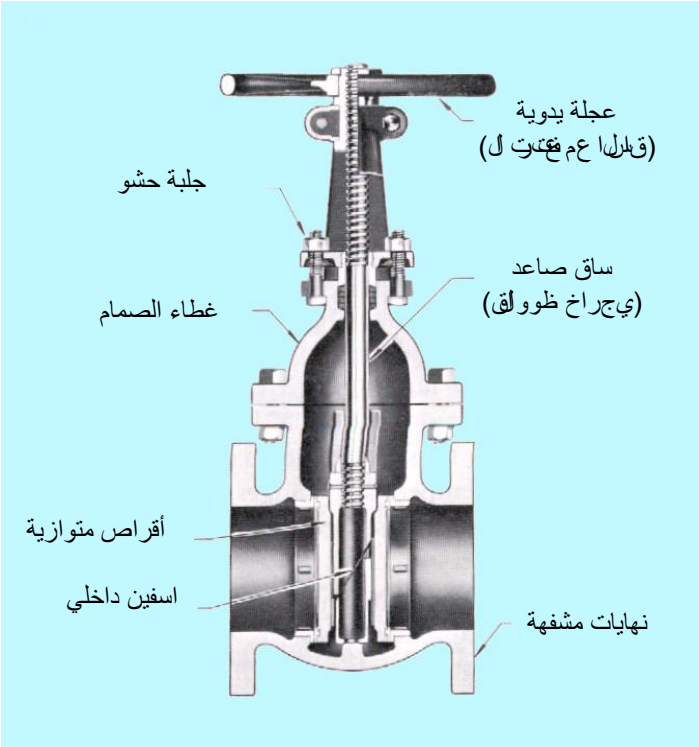
شكل (5- 8): صمام بوابي ذو قرص إسفيني صلب وساق صاعدة مع قلاووظ داخلي.



شكل (5- 9): صمام بوابي ذو قرص إسفيني منفصل.



شكل (5- 10): صمام بوابي ذو قرص إسفيني مرن.



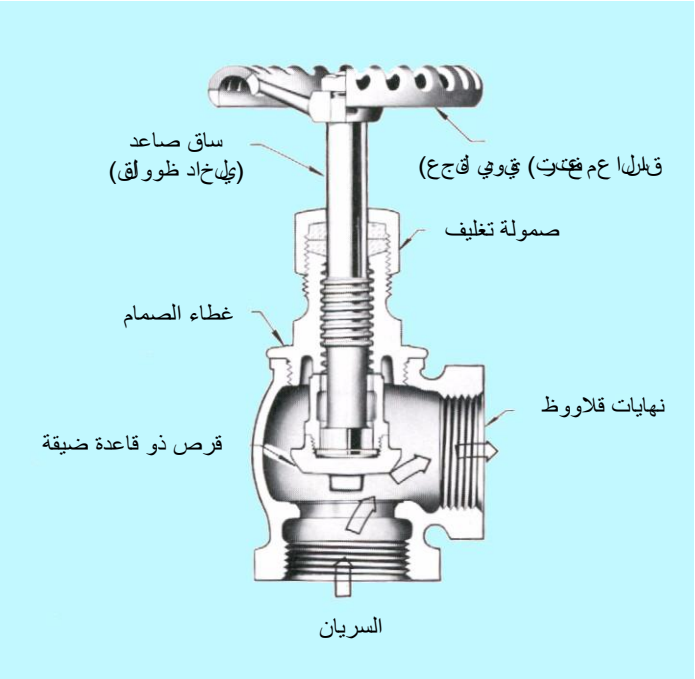
شكل (5- 11): صمام بوابي ذو أقرص إسفينيه متوازية.

(ب) الصمامات الكروية و الزاوية و "Y" : Globe , Angle & "Y" Valves

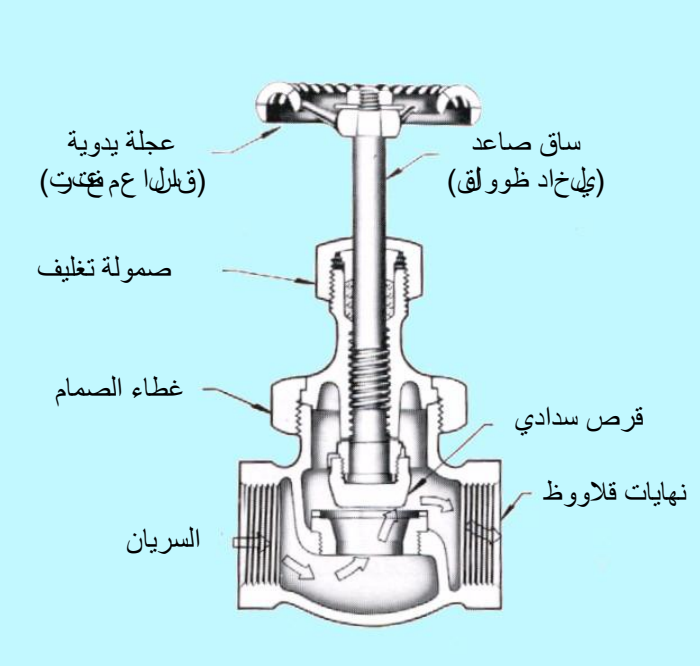
هذه الصمامات الثلاثة لها نفس التصميم، التركيب، والاستخدام حيث تستخدم أساسا في تنظيم السريان، وهذه الصمامات يمكن فتحها وقفلها أسرع من الصمامات البوابية نسبة لقصر المسافة التي يتحركها القرص.

يوصى باستخدام صمامات الزاوية و "Y" في حالة السريان الكامل نسبة لأن هبوط الضغط لها أقل من النوع الكروي، و تتميز صمامات الزاوية بأنها يمكن أن توفر أو تحل محل الكوع، وبالتالي يمكن الاستغناء عن أحد التركيبات، وتناسب الصمامات الكروية الاستخدام المتكرر.

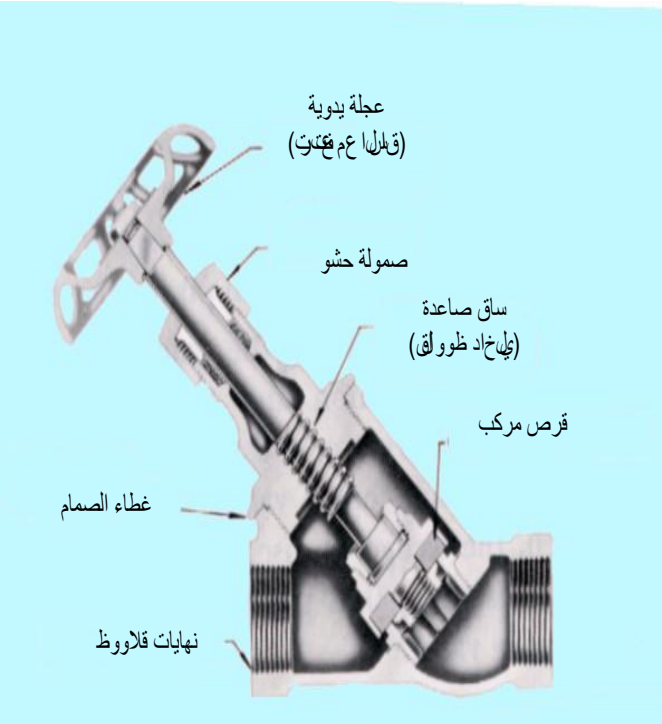
الصمامات الثلاثة المذكورة أقل عرضة للتآكل واستبدال أقراصها وقواعدها أسهل من تلك بالنسبة للصمامات البوابية. الشكل (5- 12) لصمام كروي والشكل (5- 13) لصمام زاوية والشكل (5- 14) لصمام"Y".



شكل (5- 12): صمام زاوية ذو قرص بقاعدة ضيقة و ساق صاعدة مع قلاووظ داخلي.



شكل (5- 13): صمام كروي ذو قرص سدادي وساق صاعدة مع قلاووظ داخلي.



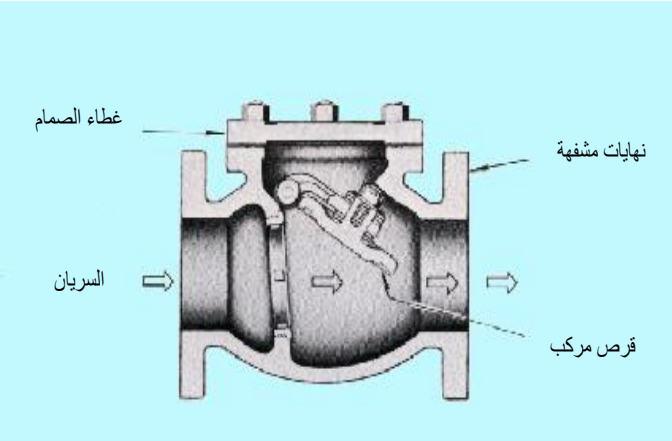
شكل (5- 14): صمام "Y"

(ث) صمامات عدم رجوع: (Check Valves)

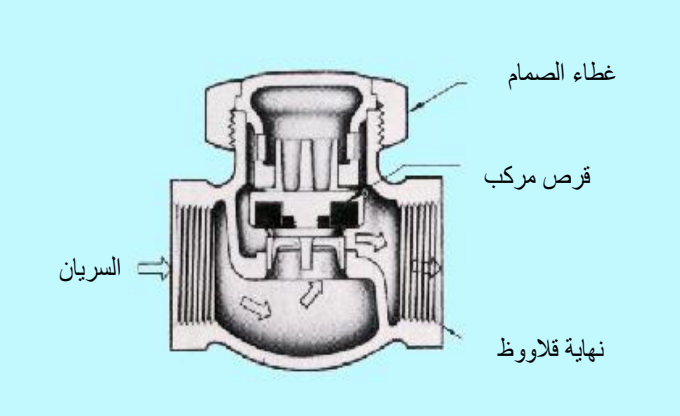
يوجد تصميمان أساسيان لهذا النوع من الصمامات: الدوارة (Swing check) والرفعية (Lift check).

يمكن استخدام الصمامات الدوارة في الخطوط الأفقية أو الخطوط الرأسية عندما يكون السريان إلى أعلى، الشكل (5- 15) لصمام عدم رجوع من النوع الدوار.

نلاحظ أن السريان في هذه الصمامات يكون في خط مستقيم وبدون عائق، أما الصمامات الرفعية فتعمل بنفس طريقة الصمام الكروي كما هو موضح في الشكل (5- 16)، حيث يكون القرص حر الحركة فيرتفع وينخفض حسب الضغط الواقع عليه (عن طريق السريان العكسي أو الجاذبية). هذا النوع من الصمامات يجب تركيبه في الخطوط الأفقية فقط ويستخدم عادة بالاشتراك مع الصمامات الكروية والزاوية و "Y".



شكل (5- 15): صمام عدم رجوع دوار



شكل (5- 16): صمام عدم رجوع رفعي

10 -**خزانات التمدد:** (Expansion Tanks)

يتم تركيب خزان التمدد في أنظمة توزيع الماء المغلقة لغرضين:

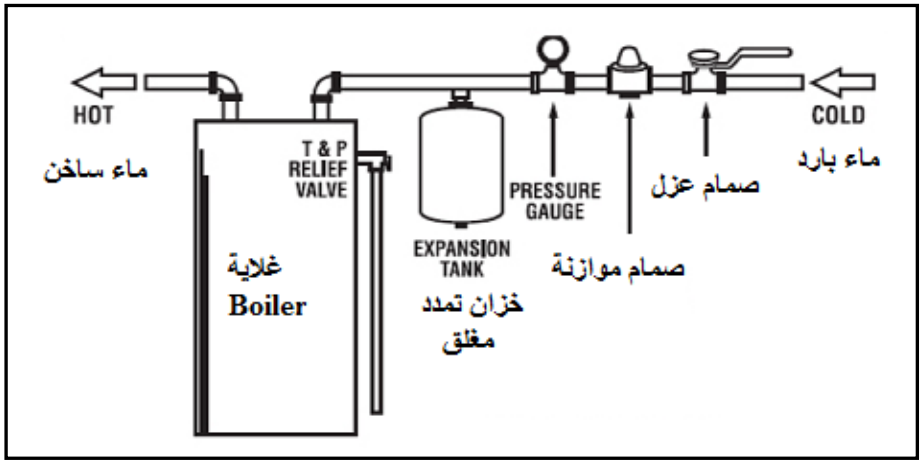
- أولا المحافظة على الضغط للنظام وذلك بالسماح للماء بالتمدد عند زيادة أو انخفاض درجة حرارته.
- ثانيا يوفر طريقة لإضافة ماء للنظام.

يوجد نوعان من خزانات التمدد هما:

- النوع المغلق
- النوع المفتوح

10 - 1 خزان التمدد المغلق: (Closed Expansion Tank)

يحتوي هذا النوع عادة على غاز (هواء أو نيتروجين)، وعندما يتمدد الماء يملأ الخزان جزئيا وبالتالي يضغط على الغاز، ولهذا السبب يطلق على الخزان المغلق عادة خزان الانضغاط (Compression tank)، أما الخزانات المغلقة فتساعد على التحكم في ضغط النظام بصورة أفضل، ولذا فقد تم استبدال الأنواع المفتوحة بالأنواع المغلقة في العديد من أنظمة المياه. تستخدم الأنواع المغلقة بصورة أكبر مع أنظمة تسخين الماء ذات درجات الحرارة العالية. الشكل (5- 17) يمثل رسما لكيفية تركيب خزان تمدد مغلق .



شكل (5- 17): خزان تمدد مغلق في دائرة تسخين

تزود أنظمة المياه دائما بملحقات أخرى كالمصافي التي يتم تركيبها عادة في الخطوط الداخلة إلى المضخات وصمامات التحكم لحمايتها من التلف، وأيضا فتحات تنفيس الهواء (Air vents) لطرد الهواء الموجود داخل الأنابيب، ويجب تركيبها عند أعلى النقاط في نظام الماء وخاصة بالنسبة للنظام الذي يستخدم النوع المغلق من خزانات التمدد .

10 - 2 خزان التمدد المفتوح: (Open Expansion Tank)

يكون هذا النوع عادة مفتوحاً للهواء الجوي ويتم تركيبه في جانب السحب للمضخة، وعند أعلى نقطة للنظام، وبذلك يمكن تفادي تسرب الهواء إلى داخل النظام. ولجعل الخزان على ارتفاع مناسب يلزم تركيب الملحقات الأخرى كالمصافي (Strainers)عند مدخله نسبة لأن الخزان يكون دائما مفتوحا للهواء الجوي، وعليه فتصبح إمكانية تكون الصدأ واردة، والحل الأفضل هو استخدام خزانات التمدد المغلق.

10 3 - تصميم حجم خزان التمدد:

- ✓ احسب حجم الماء في النظام من الجدول (5- 2).
- ✓ احسب حجم الماء في الملفات والمبادلات الحرارية.
- ✓ أوجد نسبة الزيادة في حجم الماء عند درجة الحرارة التي يعمل عليها النظام من جدول تمدد الماء (5- 4).
- ✓ سعة خزان التمدد تساوي نسبة الزيادة في الماء مضروبة في حجم الماء الكلي للنظام.

درجة الحرارة ($^{\circ}C$)	نسبة الزيادة في الحجم (%)
35	0.6
50	1.2
65	1.8
80	2.8
95	3.5
105	4.5
120	5.6
135	6.8
150	8.3
165	9.8
180	11.5
195	13
205	15

جدول (5- 4): نسبة الزيادة في حجم الماء نتيجة التمدد

تمارين:

1. اذكر أنواع حوامل وعلاقات أنابيب الماء.
2. عدد الطرق المستخدمة في امتصاص:
   - التمدد والانكماش في الأنابيب.
   - الاهتزاز في الأنابيب.
3. اذكر أنواع الصمامات التي تستخدم في أنظمة الماء، وصف تركيبها وتكوينها.
4. ما هي وظيفة خزان التمدد في نظام التكييف المركزي؟ ارسم مخططاً يوضح مكان تركيبه في دورة الماء.

الوحدة السادسة

تصميم منظومة الماء

الوحدة السادسة : تصميم منظومة الماء

Water System Design

الهدف العام: :

القدرة على تصميم شبكة أنابيب لمنظومة ماء للتكييف المركزي باختيار مقاسات الأنابيب والملحقات وحساب فقد الضغط الكلي والقدرة اللازمة للمضخة.

الأهداف التفصيلية: عندما تكمل هذه الوحدة تكون قادراً على:

1. حساب الفقد في الضغط في الأنابيب.
2. تحديد الطول المكافئ الوصلات.
3. حساب الفقد في الضغط في التركيبات.
4. تحديد مقاسات الأنابيب والتركيبات لدوائر الماء.
5. تحديد مكونات نظام توزيع المياه للتكييف ويشرح وظائفها.
6. حساب القدرة المائية والقدرة الفرملية للمضخة.
7. تصميم شبكة أنابيب بسيطة.

الوقت المتوقع للتدريب:

8 ساعات.

الوحدة السادسة : تصميم منظومة الماء
Water System Design

1 - مقدمة : (Introduction)

تستخدم شبكات الأنابيب لنقل الماء البارد أو الساخن من مبردات المياه أو الغلايات إلى الوحدات الطرفية ومناولات الهواء، وتحتوي هذه الشبكات على مضخة لضخ الماء ووصلات لتوجيه السريان وصمامات للتحكم إضافة إلى الأنابيب. ويتم تصميم شبكات توزيع الماء بالاعتماد على معدلات السريان عند كل مقطع، ومعرفة سرعة السريان أو معدل الفقد في الضغط لكل وحدة طول في أغلب التطبيقات.

من أجل تصميم نظام الأنبوب المائي بصورة صحيحة يجب على المهندس حساب الفقد نتيجة للاحتكاك للأنابيب، بالإضافة إلى الفقد في الصمامات والتركيبات.

2 - إجراءات تصميم أنظمة توزيع الماء :

(Procedures design of water distribution systems)

أ. يجب أن لا تتعدى سرعة الماء داخل الأنابيب الصغيرة (ذات الأقطار $\leq 50\ mm$) $\left(1.2\ {}^{m}/_{s}\right)$ لتفادي الضوضاء وفقد الضغط العالي.

ب. يجب أن لا يتعدى هبوط الضغط بالنسبة للأنظمة الكبيرة $\left(500\ {}^{Pa}/_{m}\right)$.

ت. يجب مراعاة أن الضوضاء والاهتزاز تحدث نتيجة لانحباس الهواء داخل الأنابيب وفي الأماكن التي يحدث فيها هبوط كبير في الضغط وكذلك الاضطراب في سريان الماء.

ث. يمكن استخدام سرعات عالية نسبياً للماء بالنسبة للأنظمة المفتوحة حيث أن أبراج التبريد توضع عادة بعيداً عن المبنى.

ج. يجب مراعاة أن التصميم الجيد لنظام الماء والموازنة الدقيقة له يقللان من الحاجة لإعادة ضبط المحابس الأمر الذي يؤدي إلى نظام هادئ (Quiet System).

ح. استخدام نظام الأنبوب مع الراجع العكسي (Reverse Return System) يساعد في جعل النظام أكثر اتزاناً.

3 - حساب مقاسات أنابيب الماء: (Water Piping Sizing)

كما هو معلوم فإن لكل أنبوبة يسري فيها ماء يحدث بها فقد نتيجة للاحتكاك، وهذا الفقد يعتمد على العوامل التالية:

- سرعة الماء.
- قطر الأنبوبة.
- خشونة سطح الأنبوبة.
- طول الأنبوبة.

الشكل (6- 1) يمثل خريطة الفقد في الضغط نتيجة للاحتكاك لأنظمة ماء مغلقة للتكييف من أنابيب الحديد الأسود متوسط المرتبة [Medium grade black steel (BS 1387)] عند درجة حرارة $7.5^{o}C$. من خلال هذا النوع من الخرائط يمكننا معرفة قياس الأنبوب إذا علمنا معدل السريان وسرعة الماء أو معدل السريان والفقد في الضغط لكل متر أو السرعة والفقد في الضغط لكل متر.

مثال (1):

صمم أقطار الأنابيب التي تحمل $\left(1, 10, 30 \ {}^{kg}/_{s}\right)$ ماءً بارداً عند درجة حرارة $\left(7.5^{o}C\right)$ ثم أوجد معدلات هبوط الضغط والسرعات .

الحل :

باستخدام الخريطة شكل (5- 1) نوجد القطر وهبوط الضغط والسرعة عند معدلات السريان المذكورة لدى أقرب تقاطع للخط المتقطع لأقصى سرعة مسموح بها في أنظمة الماء $\left(2.4 \ {}^{m}/_{s}\right)$ و بدون تجاوز فقد ضغط $\left(500 \ {}^{Pa}/_{m}\right)$ للمتر الواحد.

عند درجة حرارة $\left(7.5^{o}C\right)$:

معدل السريان (kg/s)	القطر (mm)	هبوط الضغط (Pa)	السرعة (m/s)
1	32	380	0.95
10	80	500	1.95
30	125	360	2.3

4 - هبوط الضغط في الأنابيب والتركيبات : (Pressure Drop in Pipes and Fittings)

❖ يتم حساب الهبوط في الضغط في أنابيب المياه من خلال معرفة الطول الحقيقي للأنبوبة المستقيمة (L) واستخدام مخططات هبوط الضغط للماء شكل (6- 1) لكل متر طولي(ml) الناتج عن خشونة الأنابيب المصممة لذلك ($\frac{\Delta p_f}{ml}$). فيكون الفقد في المجرى المستقيم يساوي:

$$\Delta p = L \ (\frac{\Delta p_f}{ml})$$

بما أن نظام توزيع الماء يحتوي عدة أطوال مستقيمة (L_i) فإن مجموع الهبوط في الضغط الناتج عن الاحتكاك يكون :

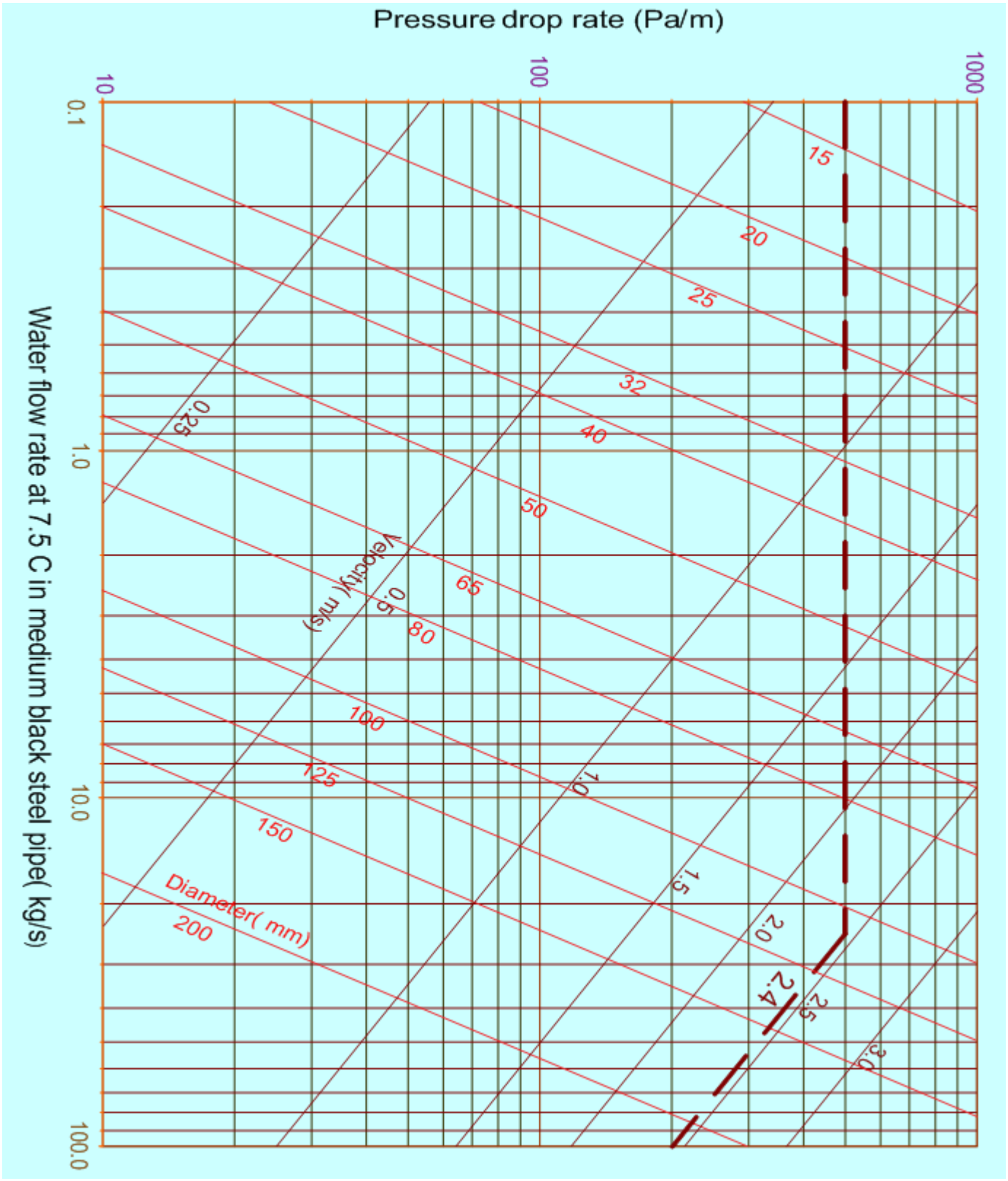
$$\Delta p_T = \sum L_i \ (\frac{\Delta p_f}{ml})_i$$

❖ في ما يخص تحديد الفقد خلال الصمامات والتركيبات تستخدم جداول جاهزة لهذا الغرض تعطي الفقد في صورة طول مكافئ [Equivalent length (E.L)] من الأنبوب (جدول (6- 1). هذه القيم تستخدم لاحقا مع جدول الاحتكاك الخاص بنوع المائع الذي تحمله لتحديد هبوط الضغط الكلي للنظام.

نوع التركيبة	القطر الاسمي للأنبوبة (mm)												
	12.5	20	25	30	40	50	65	75	100	125	150	200	250
كوع 45^o	0.24	0.27	0.4	0.5	0.7	0.9	1.0	1.2	1.7	2.0	2.4	3.4	4.0
كوع 90^o قياسي	0.5	0.6	0.8	1.0	1.3	1.7	2.0	2.4	3.3	4.0	4.9	6.7	8.0
كوع 90^o طويل	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	1.1	1.3	1.6	2.0	2.6	3.2	4.3	5.0
صمام بوابي مفتوح	0.2	0.27	0.3	0.46	0.5	0.7	0.9	1.0	1.4	1.8	2.0	2.7	3.7
صمام كروي مفتوح	5.0	6.7	8.0	11.0	13.0	16.7	20.0	25.0	33.5	41.0	50.0	67.0	82.0
صمام زاوية	2.0	2.7	3.6	4.6	5.5	7.3							
تي- سريان جانبي	0.9	1.2	1.5	2.0	2.7	3.7	4.3	5.2	6.7	8.5	10.4	13.4	17.0
صمام عدم رجوع	1.8	2.4	3.0	4.3	4.9	6.1	7.6	9.0	12.2	15.2	18.3	24.4	30.5

❖ بالنسبة للسريان المستقيم عبر التيهات يستخدم الطول المكافئ للكوع 90^o قياسي

جدول (6- 1): الطول المكافئ للصمامات والتركيبات بالمتر.



شكل (6- 1): خريطة هبوط الضغط نتيجة للاحتكاك في أنابيب الحديد الأسود للماء البارد

(معدل سريان الماء $\left(kg/s\right)$ - هبوط الضغط لكل متر من طول الأنبوب $\left(Pa/m\right)$)

❖ بالإضافة إلى الأنابيب والوصلات والصمامات، فالعناصر الحرارية كالمثلجات أوالمراجل و الوحدات الطرفية الأخرى (مناولات هواء، ملف مروحة،...) لها هبوط ضغط كبير. ويتم حساب انخفاض الضغط لكل عنصرمنها من قبل الشركات المصنعة في شكل جداول أو منحنيات في ظروف تدفق مختلفة.

من أجل تصميم نظام الأنبوب المائي بصورة صحيحة يجب على المهندس حساب الفقد نتيجة للاحتكاك للأنابيب بالإضافة إلى الفقد في الصمامات والتركيبات والعناصر الحرارية ليكون الفقد بذلك شاملا لكل منظومة توزيع الماء.

مثال (2):

أوجد هبوط الضغط خلال كوع (90^{o}) قياسي ، قطره الاسمي $(100\ mm)$ مصنوع من الحديد الزهر في نظام ماء بارد يسري فيه الماء بمعدل $\left(22.3\ {kg}/{s}\right)$.

الحل:

نوجد الطول المكافئ للكوع القياسي من الجدول (5- 1): $E.L = 3.3\,m$

باستخدام خريطة هبوط الضغط عند الشكل (5- 1) معدل سريان $\left(22.3\ {kg}/{s}\right)$ وقطر $(100\ mm)$ نجد: ${\Delta p}/{m} = 550\ {Pa}/{m}$

وبالتالي: $\Delta p = 550 \times 3.3 = 1.8 \times 10^{3}\ Pa$

5 - اختيار المضخات: (Pumps selection)

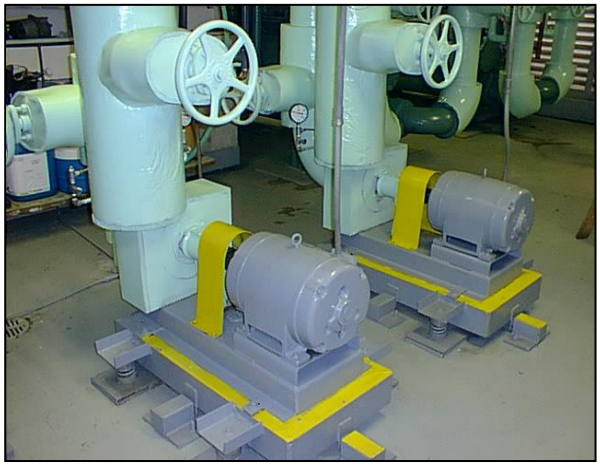
تعتبر المضخة الطاردة المركزية من أكثر المضخات استخداما في منظومات تكييف الهواء. وعند اختيار مضخة ما لمنظومة أنابيب فإنه لابد من مراعاة العوامل التالية:

- يجب اختيار المضخة حول نقطة الكفاءة العالية وذلك لضمان عمل المضخة بصورة اقتصادية.
- يجب أن يكون معدل التدفق للمضخة مساويا لمعدل السريان الحجمي للسائل في منظومة الأنابيب.

- يجب أن يكون الضغط المتولد في المضخة مساويا أو يزيد لفقد الضغط في منظومة الأنابيب.

في أنظمة التكييف المركزي يتم عادة اختيار أكثر من مضخة يتم تركيبها على التوازي وتستخدم موزعات ومجمعات في خطوط التغذية والراجع تعرف بـ (Supply & Return Headers) لتوزيع وتجميع الماء إلى ومن الوحدات الطرفية وبقية أجزاء المبنى. كما هو موضح في الشكل (5- 2) بحيث تغطي كل مضخة في حدود (30 %) من معدل السريان الكلي للنظام وهذا يساعد على :

- ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية، حيث إن النظام في أغلب الأوقات يعمل على الحمل الجزئي وليس على الحمل الكلي للمبنى.
- مرونة التشغيل وسهولة الصيانة.



(أ): مضختان على التوازي (ب): موزعات ومجمعات (Headers)

شكل (6- 2): تركيب المضخات في نظام التكييف المركزي.

يعتبر معدل السريان الحجمي للمنظومة (Q) وفقد الضغط الكلي في المنظومة (Δp_T) الخصائص الهيدرولية الأبرز للمضخة. ويتم حساب القدرة المائية (Hydraulic power) للمضخة بالمعادلة التالية:

$$P_W = Q\ \Delta p_T$$

حيثُ Q : معدل السريان الحجمي الكلي للماء في من منظومة الماء بحساب $\left(m^3/s\right)$

Δp_T : الارتفاع المانوميتري للمضخة (هبوط الضغط) بحساب (Pa)

وبمعرفة الكفاءة الميكانيكية للمضخة (η_m) يمكن حساب القدرة الفرملية (Brake power) للمضخة كالتالي:

$$P_B = \frac{P_W}{\eta_m}$$

6 - تصميم دوائر أنابيب الماء: (The Design of Water Piping)

تتميز خطوات التصميم لنظام الأنابيب بتسلسل منطقي حتى تفضي نتائج دقيقة:

❶ قم بتجهيز المخطط لنظام الأنبوب.

❷ أوجد معدل سريان الماء في كل جزء من دورة الماء وذلك بتجميع معدلات السريان لكل وحدة طرفية مبتدئاً من آخر وحدة إلى المضخة.

❸ قم باختيار فاقد الضغط نتيجة للاحتكاك لكل وحدة طول من الأنبوب المستقيم :

- بالنسبة للأنظمة الكبيرة نجعل السرعة لا تزيد عن $(2.4\ ^m/_s)$ أو هبوط ضغط لا يتعدى $(500\ Pa)$ وذلك لتفادي حدوث أصوات أو اهتزازات بالإضافة إلى طرد الهواء المحجوز وكذلك منع حدوث تآكل للأنابيب.
- بالنسبة للأنظمة الصغيرة نجعل السرعة في حدود $(1.2\ ^m/_s)$.

❹ قم بتحديد مقاس قطرالأنبوبة الرئيسة من خلال مخطط هبوط الضغط .

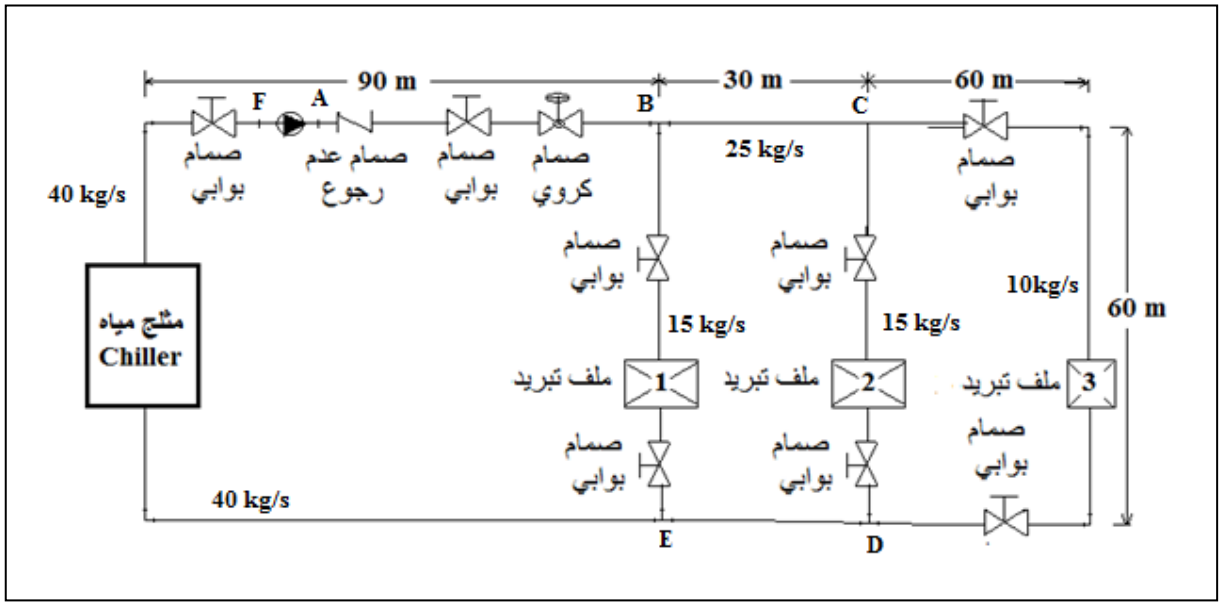
❺ قم بتحديد مقاس الأنابيب لبقية فروع الدائرة بتثبيت قيمة هبوط الضغط في الفقرة ❹ أعلاه (هبوط ضغط متساوي).

❻ يجب أن لا تقل السرعة في جميع الحالات عن $(0.5\ ^m/_s)$ حتى لا تتراكم الأوساخ داخل الأنابيب.

❼ قم بتحديد أطول دائرة لها أكبر طول مكافئ ومن ثم احسب هبوط الضغط الكلي للنظام

❽ قم باختيار المضخة المناسبة وحساب قدرتها.

مثال 3:



الشكل (6- 3)

الشكل (6- 3) لنظام أنبوب مائي بارد عند درجة $(7.5^{o}C)$ من الحديد الأسود متوسط المرتبة (BS1387). إذا علمت أن هبوط الضغط في الملفات الثلاثة ومثلج الماء هي كالتالي:

$\Delta P_1 = 3\ m.w$ ، $\Delta P_2 = 3.6\ m.w$ ، $\Delta P_3 = 4.5\ m.w$ و $\Delta P_3 = 6\ m.w$.

المطلوب حساب:

1 ـ مقاسات أقطار الأنبوبة في كل جزء من الدائرة.

2 ـ هبوط الضغط الكلي نتيجة للاحتكاك لأطول مسار للنظام.

3 ـ الارتفاع المانوميتري المطلوب للمضخة.

4 ـ القدرة المائية للمضخة والقدرة الفرملية لها إذا علمت أن كفاءتها 60 % .

الحل:

1 - باستخدام خريطة هبوط الضغط لأنبوب الحديد الأسود شكل (6- 1) نوجد الأقطار والسرعات وهبوط الضغط تحت الخط المتقطع عند سرعة $(2.4\ {}^{m}/_{s})$.

م	الدائرة	معدل السريان (kg/s)	القطر (mm)	السرعة (m/s)	هبوط الضغط (Pa/m)
1.	EFAB	40	150	2.2	260
2.	BC	25	125	1.8	240
3.	CD	15	100	1.5	235
4.	BE	15	100	1.5	235
5.	CD	10	100	1.2	150
6.	DE	25	125	1.8	240

لاحظ أن أقطار الأنابيب تتناقص بتناقص معدل السريان وذلك للمحافظة على هبوط ضغط قريب من هبوط الضغط الابتدائي.

2 -يتم دائماً تصميم النظام على أساس أطول دائرة ABCC/DEF مع إهمال الدائرتين ABEF . ACDF

المقطع	التركيبة	القطر (mm)	معدل السريان (kg/s)	السرعة (m/s)	الطول المكافئ (m)	عدد التركيبات	الطول الكلي (m)	هبوط الضغط (Pa/m)	هبوط الضغط (Pa)
EFAB	أنبوبة	150	40	2.16	-	-	240	260	
EFAB	صمام بوابي	-	-	-	2	2	4		
EFAB	صمام كروي	-	-	-	50	1	50		
EFAB	صمام عدم رجوع	-	-	-	18.3	1	18.3		
EFAB	كوع قياسي	-	-	-	4.9	2	9.8		
B	تي	-	-	-	4.9	1	4.9		
							327	260×	85020
	مثلج الماء	-	-	-	-	1	-	×6 9806.65	58840
المجموع									**143859.90**
BC	أنبوبة	125	25	1.8	-	-	30	240	

C	تي	-	-	-	4	1	4		
المجموع					34	240×	8160		
CD	أنبوبة	100	10	1.2	-	-	180	150	
C/	صمام بوابي	-	-	-	1.4	2	2.8		
CD	كوع قياسي	-	-	-	3.3	2	6.6		
D	تي	-	-	-	3.3	1	3.3		
							12.7	150×	1905
	ملف 3	-	-	-	-	1	-	×3 9806.65	29419.95
المجموع									**31324.9**
DE	أنبوبة	125	25	1.8	-	-	30	240	
E	تي	-	-	-	4	1	4		
المجموع					34	240×	**8160**		
هبوط الضغط الكلي (Pa)									**183344.8**

<u>للتذكير</u>: $1\,m.w = 9806\ .65\ Pa$

هبوط الضغط الكلي لأطول مسار ABCC/DEF يبلغ:

$$\Delta p_T = 183\ .345\ \ kPa \approx 1.833\ bar$$

3 -الارتفاع المانوميتري للمضخة المطلوبة هو:

$$(18\ .696\ \ m.w)$$

4 -قدرة المضخة المائية وقدرة المضخة الفرملية بحساب الحصان البخاري (HP) تعطيان بالقوانين التالية:

$$P_W = \frac{Q \times \Delta p}{746} \quad , \quad P_B = \frac{P_W}{\eta_m}$$

حيث إن :

P_W : القدرة المائية للمضخة (HP)

P_B : القدرة الفرملية للمضخة (HP)

Q : معدل السريان $\left(m^3/s\right)$

Δp : الارتفاع المانوميتري للمضخة (هبوط الضغط) (Pa)

η_m : الكفاءة الميكانيكية للمضخة

$$P_W = \frac{40 \times 183344 \ .8}{1000 \times 746} = 9.83 \ HP \qquad \& \ P_B = \frac{9.83}{0.6} = 16.38 \ HP$$

7 - أنظمة التسخين بالبخار: (Steam Heating Systems)

في هذه الأنظمة يتم توزيع البخار بدلاً عن الماء إلى الوحدات الطرفية حيث يتكاثف طارداً الحرارة الكامنة ويرجع الماء المتكاثف إلى المرجل بواسطة المضخة، إن ضخ البخار يتم عن طريق الضغط المتولد في المرجل.

تعتبر أنظمة البخار ذات كفاءة عالية في نقل الطاقة خصوصاً إذا كانت المسافة طويلة بالإضافة إلى سهولة التحكم فيها، و استخدام أنظمة البخار في مجال التدفئة محدود ولكن يمكن الاستفادة من البخار في تسخين الماء والذي يتم توزيعه إلى الوحدات الطرفية (Terminal Units) ، المنتشرة في جميع مناطق (Zones) المبنى المختلفة. وهنالك العديد من التطبيقات التي تستخدم فيها أنظمة التسخين بالبخار، كالمستشفيات وبعض العمليات الصناعية، أما في أنظمة التكييف المركزي فيستخدم البخار لأغراض الترطيب ويكون عند ضغط أقل من ($1 \ bar$).

يعتبر تصميم أنظمة التسخين بالبخار أكثر تعقيداً من تصميم أنظمة التسخين بالماء ويعزى ذلك لوجود الماء والبخار معاً في النظام، وعليه فيجب التعامل مع كل منها على حدة إلا في المرجل.

8 - عزل الأنابيب: (Pipes insulation)

يستخدم الماء المبرد (chilled water) والماء الساخن (hot water) في شبكات المياه للتكييف ويمكن أن تمدد داخل الأماكن المكيفة أو خارجها وفي كل الحالات يجب أن يتم عزلها للأسباب التالية:

- المحافظة على الطاقة بالحد من التبادل الحراري بين الماء البارد أو الساخن وسط الأنابيب والهواء حوله.

- لتفادي تكثف الرطوبة على الأنابيب إذا كانت درجة حرارة الماء أقل من نقطة ندى الهواء المحيط بها في منظومات التبريد. ولحماية العازل من تكثف الرطوبة والتلف يتم تغطيته بطبقة مانعة لتسرب الرطوبة (Vapor barrier) وتكون عادة من رقائق الألمنيوم.

تستخدم الكثير من المواد في عزل الأنابيب مثل المطاط والليف الزجاجي والبوليورثان. ويعتمد السمك الاقتصادي الأمثل (Optimum thickness) للعازل أساسا على درجة حرارة الماء و قطر الأنبوبة ونوعية العملية (تسخين أو تبريد).

تمارين:

1 - أنبوبة مساحة مقطعها $(5.4\times10^{-3}\ m^2)$ ، يسري فيها ماء بمعدل $(1\ L/S)$. احسب سرعة الماء بالمتر / ثانية.

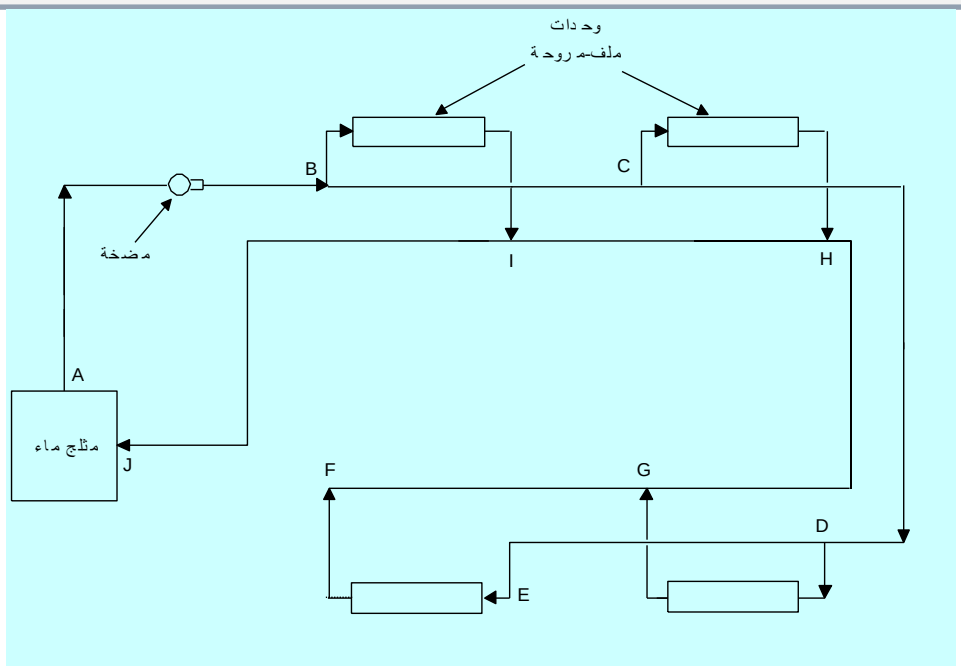
2 - احسب هبوط الضغط خلال صمام كروي مصنوع من الحديد الزهر قطره $(40\ mm)$ يسري فيه ماء بمعدل $(3\ L/S)$.

3 - نظام تبريد مائي له هبوط ضغط نتيجة للاحتكاك يعادل $(12.5\ m.w)$ ، ضغط التصريف للمضخة يساوي $(25\ m.wg)$. كم تبلغ قراءة عداد الضغط عند السحب للمضخة بوحدات $\left(kg/cm^2\right)$ ؟.

4 - يسري ماء نظيف في أنبوبة من الحديد الأسود رقمه (BS1387)، قطرها الاسمي $(80\ mm)$ بسرعة $(1.2\ m/s)$. كم يبلغ معدل السريان وفاقد الاحتكاك لكل متر طولي ؟.

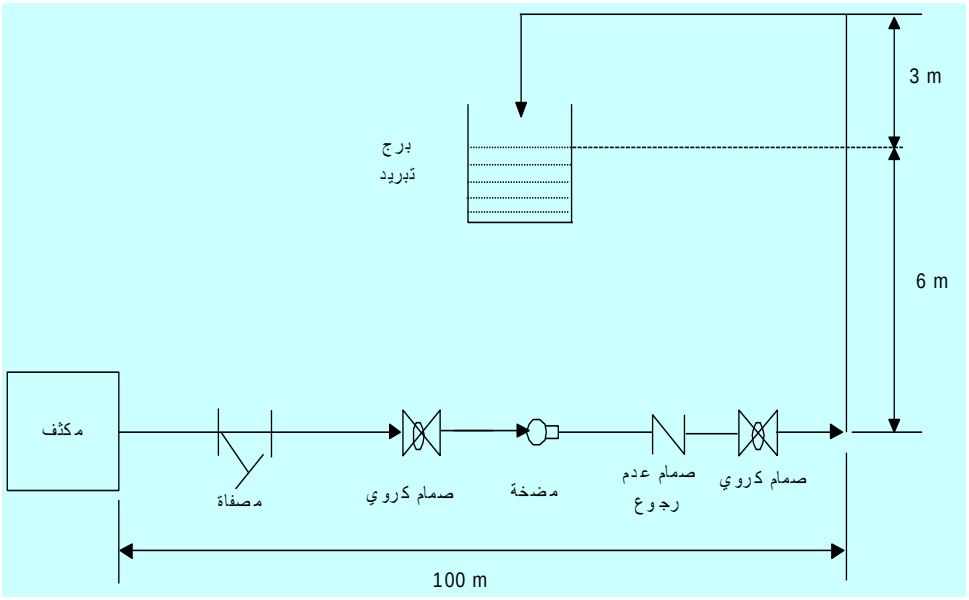
5 - الشكل (6- 4) لنظام أنبوب مائي بارد من الحديد الأسود متوسط الدرجة (BS1387). المطلوب تحديد مقاسات الأنابيب في أجزاء الدائرة إذا علم أن كل وحدة طرفية تحمل $\left(0.75\ kg/s\right)$ من الماء وطول الفروع إلى كل وحدة طرفية تبلغ $(3\ m)$ ، بقية الأبعاد بالمتر على النحو التالي :

AB	25	BC	20	CD	30	DE	20
FG	25	GH	30	HI	12	IJ	25



شكل (6- 4): نظام أنبوب مائي.

6 - أوجد هبوط الضغط خلال برج التبريد الموضح في الشكل (5- 5) إذا كان النظام يستخدم أنبوبة من الحديد الأسود (Schedule 40) قطرها الاسمي $(200\ mm)$ ويسري فيها ماء بمعدل $\left(80\ {}^{kg}/_{s}\right)$ إذا علمت أن الطول المكافئ للمصفاة $(12\ m)$ وهبوط الضغط خلال المكثف و البرج هي كالتالي $(3.6\ m.w)$ و $(2.4\ m.w)$.



شكل (6- 5) :تبريد ماء تبريدالمكثّف بواسطة برج تبريد

7- أوجد هبوط الضغط نتيجة للاحتكاك والسرعة في أنبوبة مستقيمة من الحديد الأسود (BS1387) في نظام تبريد مائي يسري فيه الماء بمعدل $\left(15\ {}^{kg}/_{s}\right)$. كم يبلغ هبوط الضغط إذا كان النظام يستخدم كنظام تسخين مائي ؟.

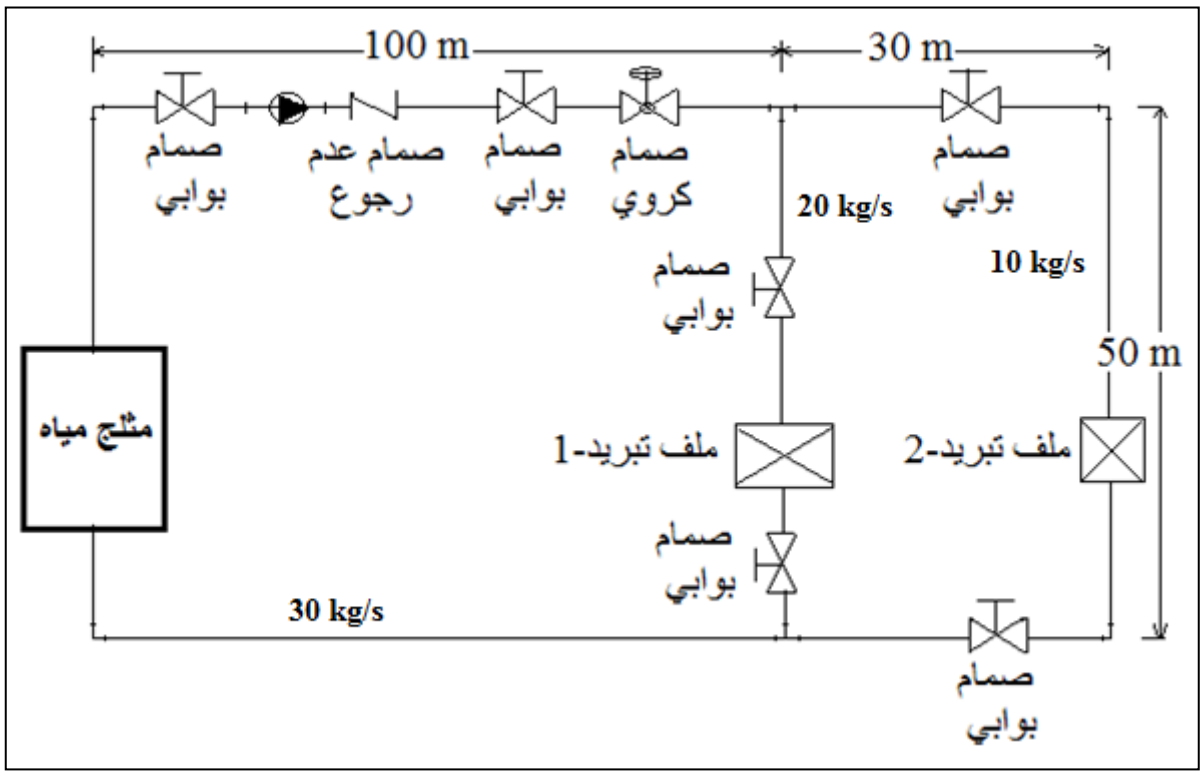
8- في نظام الأنبوب المائي البارد الموضح في الشكل (6- 6). اذا علمت أن هبوط الضغط في ملفي التبريد ومثلج الماء هي كالتالي: $\Delta P_1 = 2\ m.w$ ، $\Delta P_2 = 2.4\ m.w$ و $\Delta P_{chiller} = 5\ m.w$ المطلوب حساب:

1 -مقاسات أقطار الأنابيب في كل جزء من الدائرة.

2 -هبوط الضغط الكلي لهذه المنظومة.

3 -الارتفاع المانوميتري للمضخة.

4 -القدرة المائية للمضخة وقدرة المحرك إذا علمت أن كفاءة المضخة (65 %).



الشكل (6- 6)

الوحدة السابعة

جودة الهواء الداخلي

الوحدة السابعة : جودة الهواء الداخلي
Indoor Air Quality

الهدف العام :

التعرف على طرق تنقية الهواء وأسس اختيار مرشحات الهواء لتحسين جودة الهواء الداخلي في أنظمة التكييف المركزي.

الأهداف التفصيلية : عندما تكمل هذه الوحدة تكون قادراً على:

1. معرفة متطلبات التهوية للاماكن المكيفة.
2. معرفة مصادر تلوث الهواء والتأثيرات الضارة للملوثات الغازية.
3. التعرف على أنواع مرشحات الهواء المستخدمة في أجهزة التكييف المركزي ومزايا كل منها.
4. معرفة معايير أداء المرشحات وكيفية اختيار المرشح.
5. استخدام الجداول والخرائط الخاصة بمعطيات أداء المرشحات لاختيار المرشح المناسب.

الوقت المتوقع للتدريب :

4 ساعات

الوحدة السابعة : جودة الهواء الداخلي
Indoor Air Quality

1 - مقدمة : (Introduction)

في الأماكن المكيفة خاصة المزدحمة بالناس يعطي شاغل المكان معدلات كبيرة من الحرارة وبخار الماء وغاز ثاني أكسيد الكربون، أما في المصانع والمعامل قد تعطي المعدات علاوة على ذلك غازات ضارة ومواد عالقة تؤثر على الصحة العامة وظروف العمل، لذا يلزم تهوية الأماكن المأهولة بالناس للحصول على وسط صحي خالٍ من الغبار والأتربة والغازات الفاسدة والروائح الكريهة، مما يعني أهمية التحكم الجيد في جودة الهواء الداخلي والذي يتطلب تنقية الهواء ومعالجته وتعقيمه إن لزم الأمر و هذا يتطلب استخدام مرشحات هواء ذات كفاءة عالية في أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء.

2 - متطلبات التهوية : (Ventilation Requirements)

تصف المقاييس العالمية طريقتين للحصول على جودة مقبولة للهواء الداخلي:

2- 1- الطريقة الأولى :

وتعرف بطريقة إجراءات معدل التهوية (Ventilation Rate Procedure) ويتم فيها تحديد نسب لمعدلات التهوية اللازمة لتجديد الهواء للمحافظة على التركيز المسموح به للغازات الضارة وكذلك توفير الهواء النقي اللازم للتنفس، ويتم تحديد تلك النسب إما باحتياج الشخص للهواء النقي باللتر لكل ثانية $\left(L/s\right)$ ، أو بعدد مرات تغيير الهواء في الساعة داخل الأماكن المكيفة [Air changes per hour (ACH)]. الجدول (7- 1) يوضح متطلبات التهوية من الهواء الخارجي لبعض الأنشطة والاستخدامات.

2- 2- الطريقة الثانية :

تعرف بطريقة إجراءات جودة الهواء الداخل (Indoor Air Quality Procedure) ، وتعتمد هذه الطريقة في حالة استخدام نظام لتنقية الهواء ولا تستخدم في حالة وجود نسب عالية من

التركيز لغاز ثاني أكسيد الكربون داخل الأماكن المكيفة، حيث أن نظام التنقية لا يتحكم في أعلى نسبة تركيز لهذا الغاز والتي تحتاج على الأقل إلى $\left(8\ {}^{L}/_{s}\right)$ من الهواء النقي لكل شخص، وعليه فإذا لم يتمكن نظام التنقية من التخلص من غاز ثاني أكسيد الكربون فيجب قياس مستوياته داخل الأماكن جيداً، حتى يتم التمكن من المحافظة على تزويد الأشخاص بالقيمة المذكورة من الهواء الخارجي النقي.

م	المكان	ACH	$\left({}^{L}/_{s}\right)$ لكل شخص
.1	مكاتب	1.5-3	10
.2	مطابخ	10-20	8
.3	قاعات دراسية	20	8
.4	صالات اجتماعات	5	10
.5	معامل	5	10
.6	مطاعم	4	10
.7	غرف مرضى	2	13
.8	مصانع	2-4	10
.9	محلات تجارية	0.5-1	8

جدول (7- 1): يوضح متطلبات التهوية لبعض التطبيقات

3 - المفاهيم الأساسية لجودة الهواء الداخلي:

تعرف جمعية مهندسي التدفئة والتهوية وتكييف الهواء الأمريكية (ASHRAE) جودة الهواء الداخلي بأن الهواء داخل الأماكن المكيفة يجب أن يكون خالياً من الملوثات وبنسب تركيز ضارة بالإنسان، ويتم وضعها بواسطة السلطات المختصة والتي عندها لا يشعر أغلب الأشخاص المتواجدين بالمكان (80%) أو أكثر بعدم الارتياح.

إن جودة الهواء الداخلي المقبولة لا تعني الإحساس بالراحة فقط، بل يجب أن يكون المكان المتواجد فيه الأشخاص خالياً من الروائح والملوثات، وعليه فنظام التكييف يجب أن يوفر هواء

نظيفاً صحياً خالياً من الروائح، بالإضافة إلى وظيفته الأساسية وهي توفير الراحة الحرارية للإنسان.

4 - تلوث الهواء: (Air Contamination)

يعتقد الكثيرون أن تلوث الهواء الخارجي هو الذي يؤثر على صحة الإنسان ولكنهم لا يعلمون أن الهواء الداخلي يمكن أيضا أن يؤثر بصورة كبيرة على صحتهم، وقد أثبتت الدراسات التي قامت بها وكالة حماية البيئة أخيرا [American Environmental Protection Agency (EPA)] أن تأثير مستويات ملوثات الهواء الداخلي يمثل من (2 – 5) أضعاف ذلك الذي يحدث بواسطة الهواء الخارجي.

من المعلوم أن الهواء الجوي يحتوي على نسب ثابتة تقريبا من النتروجين(78%) ، والأوكسجين (21%) والأرجون (0.9%) ، ونسب متغيرة من ثاني أكسيد الكربون (0.03%) وبخار الماء (0.035 %) ، بالإضافة إلى الغازات الخاملة مثل الهليوم والكربتون . ملوثات الهواء هي عبارة عن أي غازات أخرى غير تلك المذكورة أعلاه، وبالرغم من أن تركيزها يكون عادة صغيرا إلا أن تأثيرها يكون خطيرا على الأشخاص ومواد البناء وعليه فإن التخلص منها يصبح ضرورياً.

4- 1- الملوثات الغازية: (Gaseous Contaminants)

من مصادر الغازات الملوثة الداخلية : (Indoor Gaseous Contaminants)

- دخان السجاير (Tobacco Smoke)
- المنظفات (Cleaning Agents) : مثل الشمع، المطهرات، مواد التجميل.
- مواد البناء والأثاث (Building Materials & Furnishings) : مثل الموكيت، ورق الحائط، الأخشاب، مواد اللصق، مواد الطلاء
- المعدات (Equipment) : مثل ماكينات التصوير، طابعات الليزر، ماكينات الفاكس، الأحبار، الطامسات في الأماكن التجارية. وفي المساكن نجد المواقد ، السخانات التي تعمل بالكيروسين .
- الأشخاص: (Occupants) : تنبعث الكثير من الملوثات من الأشخاص والحيوانات عن طريق التنفس، العرق، الريح مثل غاز الأستون، الأمونيا، البنزين، ثاني أكسيد الكربون، أول أكسيد الكربون، الميثان، الميثانول، البروبان.

- غاز ثاني أكسيد الكربون: (Carbon Dioxide): ينتج غاز ثاني أكسيد الكربون من الأشخاص نتيجة التنفس وعليه فإن مستوياته تكون أعلى داخل الأماكن المشغولة بالناس منها في الهواء الخارجي، ويعتبر غاز ثاني أكسيد الكربون ذو تأثير ضار خصوصاً في الأماكن المزدحمة بالناس، وبالتالي فإن نسبة تركيزه داخل الحيز هي عبارة عن مقياس لمدى فعالية التهوية في ذلك المكان. وتوصي وكالة حماية البيئة (EPA) بنسبة تركيز مسموح بها داخل الأماكن التي يتم فيها التعرض المستمر للغاز كالمدارس، والمجمعات السكنية للمتدربين لا تتعدى $\left(1.8\,{}^{g}/_{m^3}\right)$ $(1000\ \ PPM)$.

- الهواء الخارجي: (Outdoor Air): التلوث في الهواء الخارجي يمكن أن يكون موضعيا كالذي يكون مصدره المطاعم، المركبات، الأوزون، هوايات البالوعات أو ملوثات من المنطقة كثاني أكسيد الكبريت، الأوزون، أكاسيد النتروجين. تركيز هذه الملوثات يختلف مع الزمن ومن موسم إلى آخر.

- غاز الرادون: (Radon): ينتج غاز الرادون عن عنصر الراديوم ذي الإشعاع النشط، وبالتالي فهو غاز مشع . وتعتبر التربة المصدر الرئيس لغاز الرادون، ويختلف تركيزه من منطقة إلى أخرى، ويتسرب إلى داخل المباني عن طريق التشققات الموجودة في الأرضيات، أو عن طريق مصادر إمداد الماء للمباني، أو من بعض المواد التي تحتوي على عنصر اليورانيوم . للتخلص من هذا الغاز الضار والذي يتسبب في آلاف الوفيات بسبب سرطان الرئة الذي يعتبر غاز الرادون المسؤول الثاني عنه في الولايات المتحدة حسب التقارير الصادرة من الأطباء الجراحين في هذا الصدد ، يلزم خلق فرق ضغط بين المبنى والخارج حتى لا يتسرب هذا الغاز إلى الداخل.

هنالك العديد من الطرق الأخرى المستخدمة لحجب دخول هذا الغاز إلى الداخل كالتهوية للمناطق السفلى (كالقبو Basement) مثلاً، وكذلك سد التشققات بالأرضية، كما يلزم أيضاً قبل التفكير في إنشاء أي مبنى أن يتم الاتصال بالسلطات المختصة في البلد، للتأكد من أن نسبة تركيز غاز الرادون بالمنطقة المعينة لا تتجاوز النسب المسموح والموصى بها.

4- 2- التأثيرات الضارة للملوثات الغازية:

- السمية: (Toxicity) : يجب على مهندس التكييف الأخذ في الاعتبار درجة السمية للغازات عند تحديد كمية الهواء الراجع الآمنة، ويجب أن تكون كمية هواء التهوية كافية، بحيث لا يزيد تركيز تلوث الغاز عن المستويات المسموح بها والمحددة بواسطة المعهد القومي للسلامة والصحة المهنية [National Institute for Occupational Safety & Health (NIOSH)]. مثال للغازات السامة غاز أول أكسيد الكربون وغاز الرادون [Radon (Rn)]

- الروائح (Odors): تكون الروائح دائما مصدرا لإزعاج الكثيرين، كل شخص له حساسية مختلفة ضد الروائح، وزيادة الرطوبة النسبية تعمل على زيادة الروائح . في الواقع يكون من الأفضل أن تظل عتبة الرائحة (Odor Threshold) للمادة السامة أو القابلة للانفجار أقل بكثير من مستويات السمية، مما يساعد على تحذير الأشخاص بوجود ملوث داخل المكان، فعند التركيز القليل لبعض الروائح لا يستطيع الشخص إدراك وجوده. إن الدراسات في هذا الصدد تبحث عن تحديد مستوى تكون فيه نسبة من الأشخاص (حوالي (50%) لا يستطيعون إدراك رائحة المركب الذي تتم دراسته، وهذا التركيز هو ما يعرف بعتبة الرائحة لهذا المركب.

- الاستجابة للتهيج و الحساسية (Irritation & Allergic Response) : التعرض لبعض الملوثات الغازية يسبب التهيج، الحساسية، الربو، الكحة، السعال، حساسية (العين، الحلق، الجلد)، ضيق التنفس، الدوخة، الصداع والكآبة وهذه الأعراض قد تظهر عند بعض الأشخاص ولا تظهر عند البعض الآخر، مما يجعل التشخيص في غاية الصعوبة والمشكلة تكمن في تركيز الغازات الملوثة، ولكنها بالطبع أي الأعراض السالفة الذكر لا تحدث عند حد عتبة الرائحة. اقترح راسك في عام 1988م بأنه عندما يشكو (20%) من الأشخاص في مبنى معين فإن المبنى يعتبر (متلازم المرض) (Sick building syndrome)

- تلف المواد (Damage of Materials): الغازات الملوثة قد تسبب تلف المواد مثل الصدأ، الهشاشة، فقدان اللون وذلك نتيجة للتفاعلات الكيميائية التي تحدثها الغازات في وجود بخار الماء.

5 - مرشحات الهواء: (Air Filters)

يمكن تصنيف مرشحات الهواء المستخدمة في مجال تكييف الهواء إلى ثلاثة أنواع رئيسة:

- ❖ مرشحات جافة (Dry Filters)
- ❖ مرشحات لزجة (Viscous Filters)
- ❖ مرشحات إلكترونية (Electronic Filters)

5 - 1 المرشحات الجافة: (Dry Filters)

تتكون المرشحات الجافة من مواد مثل السلولوز، الإسبستوس، الورق المسامي المعالج، القماش، الصوف الزجاجي أو خيوط القطن مجمعة في إطار معدني، وعند مرور الهواء خلال وسائط الترشيح تعلق ذرات الأتربة بمادة الترشيح وبالتالي يصبح الهواء الخارج من المرشح خالٍ من الأتربة وذرات الرمال.

يؤثر على أداء المرشحات أقطار الألياف، سمك المرشح ونسبة مساحة أسطح الترشيح إلى مساحة واجهة المرشح (Filter Face Area) .

يمكن تصنيف المرشح إلى:

- مرشحات ثابتة يتم تغييرها عند اتساخها.
- مرشحات متحركة على هيئة شريط يتحرك ببطء بواسطة بكرتين عند اتساخ الشريط يتم تغييره بشريط آخر جديد.

يمكن تصنيف المرشحات الجافة إلى ثلاث درجات حسب أنواع المواد المستخدمة في الترشيح:

- مرشحات تستخدم مادة السلولوز لترشيح الأتربة الكبيرة ذات الأقطار الأكبر من (7) ميكرون.
- مرشحات تستخدم الألياف الصناعية لترشيح الأتربة المتوسطة ذات الأقطار الأقل من (7) ميكرون والأكبر من (0.7) ميكرون.
- مرشحات تستخدم الألياف الزجاجية لترشيح التربة الدقيقة ذات الأقطار الأقل من (7) ميكرون .

تتراوح كفاءة المرشحات الجافة بين (95%) , (84%). تنتج الشركات المرشحات الجافة بأبعاد قياسية: $(25 \times 50\ cm)$, $(40 \times 50\ cm)$, $(40 \times 62.5\ cm)$, $(50 \times 50\ cm)$, $(12.5 \times 62.5\ cm)$ وبسمك $(25, 50, 100\ mm)$

الشكل (7- 1) لمرشحات جافة: (أ) ذات كفاءة عالية، (ب) ذات كفاءة متوسطة، (ت) متحرك آليا.

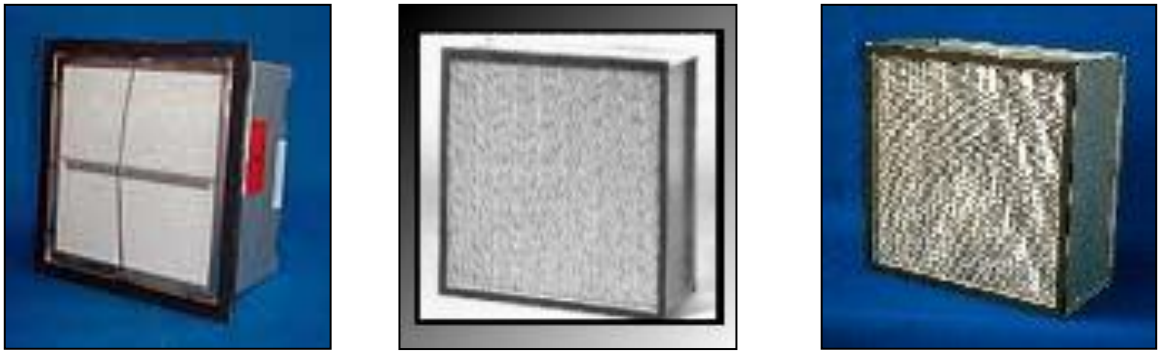
المرشح الدقيق (Fine Filter) عبارة عن نوع من المرشحات الجافة التي لها المسافة بين الألياف دقيقة جدا، مما يساعد على تنقية الهواء المار خلال المرشح من الأتربة، الغازات، الكائنات الدقيقة، والبكتيريا بكفاءة تصل إلى حوالي (99.9%). عند مرور هواء يحتوي ذرات أقطارها (0.3) ميكرون وفيروسات (0.05) ميكرون يطلق عليها مرشحات الهيبا [High Efficiency Particulate Air (HEPA) Filters].

يستخدم المرشح الدقيق لتنقية الهواء قبل دخوله في غرفة العمليات، معامل الأبحاث، مصانع الأمصال والأدوية، وغرف الأجهزة الدقيقة التي تتطلب هواء ذا درجة عالية من النقاوة.

تركب المرشحات الدقيقة بعد المروحة أي بعد معالجة الهواء خلال المرشح الأولي لنظام تكييف الهواء. المرشح الأولي يمكن أن يكون من النوع المعدني القابل للغسيل، أو من النوع اللزج المتحرك، ويعمل المرشح الأولي على المحافظة على المرشح الدقيق من الاتساخ، وبالتالي زيادة فترة تشغيله وعمره الافتراضي. الشكل (7- 2) لمرشحات دقيقة من النوع الهيبا.

(أ): كفاءة عالية (ب): كفاءة متوسطة (ت): متحرك آلياً

الشكل (7- 1): مرشحات جافة (Dry filters)



الشكل (7- 2): المرشحات الدقيقة من النوع الهيبا [Fine filters (HEPA)].

5 2 - المرشحات ذات الارتطام اللزج: (Viscous Impingement Filters)

تعتمد نظرية المرشحات اللزجة على استعمال مادة لزجة تعمل على حجز الأتربة والميكروبات، ويتكون المرشح اللزج من ألياف الصوف الزجاجي، ألياف اصطناعية، ألياف الألمنيوم أو شعر الحيوانات على هيئة تجاويف متعاقبة وراء بعضها ومشبعة بمادة لزجة (زيت أو شحم)، تقوم باستخلاص الأتربة من الهواء المار خلالها نتيجة تغيير اتجاه حركة الهواء وسرعته خلال سمك المرشح. المرشحات اللزجة يمكنها التخلص من حوالي (90%) من الأتربة العالقة بالهواء بكفاءة تتراوح بين (65%) و (80%) .

تصنف المرشحات اللزجة إلى ثلاثة أنواع :

(أ) مرشحات قابلة للغسيل: (Washable Filters)

هذا النوع من المرشحات يمكن غسله بمحلول منظف، بعد انسداده بالأتربة، تجفيف وإعادة ملئه بالمادة اللزجة لإعادة استخدامه.

(ب) مرشحات قابلة للتغيير: (Changeable Filters)

هذا النوع من المرشحات يتطلب تغيير المادة المرشحة بمادة جديدة بعد انسداده بالأتربة.

(ت) مرشحات ذاتية التنظيف: (Self -Cleaning Filters)

تعتمد نظرية هذه المرشحات على استخدام ستارة دائرية من الريش المحملة بمادة لزجة. تتم إدارة هذه الستارة بواسطة ترسين وموتور. جزء من الريش يغمر بصفة دائمة في حوض مملوء بمادة لزجة (زيت) تعمل على غسل الريش المتحركة من الأتربة العالقة بالمادة اللزجة، علاوة على تحميل الريش بمادة لزجة جديدة. مرور تيار الهواء خلال الستائر يعمل على تنقية الهواء من الأتربة التي تتجمع على أسطح الريش، ويجب تجديد المادة اللزجة المتجمعة في قاع الحوض عندما تصبح المادة اللزجة على هيئة طينية. تعتبر المرشحات اللزجة مناسبة في حالة التركيز العالي للمواد العالقة. الشكل (7- 3) لمرشحات ارتطام لزجة: (أ) قابلة للتنظيف، (ب) ذاتية التنظيف.

(أ): قابل للتنظيف (Washable)

(ب): ذاتي التنظيف (Self-cleaning)

الشكل (7- 3): مرشحات ذات ارتطام لزج (Viscous impingement filters)

5 3 - المرشحات الإلكترونية: (Electronic Filters)

تعرف المرشحات الإلكترونية بالمرسبات (Precipitators) وتصنف إلى نوعين:

- النوع المتأين (Ionizing Type).
- النوع ذو الأوساط المشحونة (Charged Media Type).

يتكون المرشح الإلكتروني من شبكتين مشحونتين بشحنة كهروستاتيكية، من جهد عالي يتراوح بين (11000) و(13000) فولت كافية لجذب أي ذرة من الأتربة أو الميكروبات، وتجهز المرشحات الإلكترونية بأجهزة لفصل التيار عنها قبل الكشف عليها حتى لا تسبب أخطاراً لمن يلمسها، وتتراوح كفاءة المرشحات الإلكترونية بين (70%) و(90%). عادة يستخدم مرشح جاف مع المرشحات الإلكترونية وذلك للتخلص من الجسيمات الكبيرة.

حاليا تستخدم المرشحات الإلكترونية بدلا من المرشحات الجافة الدقيقة ذات الكفاءة العالية للتخلص من الجسيمات ذات الأقطار الأقل من الميكرون، ويمكن تركيب المرشحات الإلكترونية في مسالك التغذية أو مسالك الراجع.

من مزايا المرشحات الإلكترونية العمل على تعقيم الهواء عن طريق قتل الميكروبات والجراثيم التي يحملها الهواء، علاوة على التنقية.

يمثل الشكل (7- 4) مرشحات إلكترونية: (أ) النوع المتأين ، (ب) النوع ذو الأوساط المشحونة

(أ): النوع المتأين (Ionizing type)

(ب): النوع ذو الأوساط المشحونة (Charged media type)

الشكل (7- 4): مرشحات إلكترونية (Electronic filters).

5- 4- معيار أداء المرشحات: (Filters Performance Criteria)

يمكن بيان أداء المرشحات بدلالة كل من: كفاءة المرشح، مقاومة الهواء خلال المرشح وفترة تشغيل المرشح قبل الإحلال والتجديد.

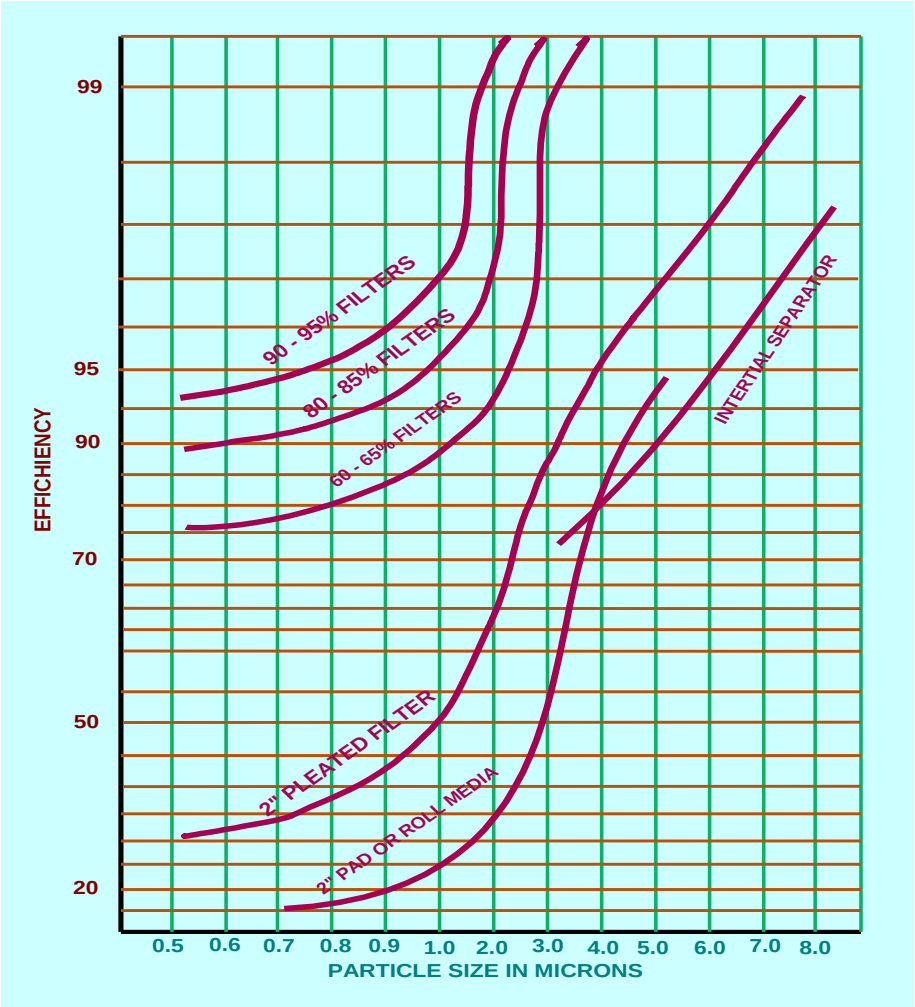
(أ) كفاءة المرشح: (Filter Efficiency)

تعتبر كفاءة المرشح من خلال إمكانياته على حجز الأتربة من الهواء . المعادلة الرياضية لكفاءة المرشح هي : $\eta\ (filter) = \frac{C_1 - C_2}{C_1}$

حيث: C_1: عبارة عن نسبة تركيز الأتربة قبل المرشح.

C_2: عبارة عن نسبة تركيز الأتربة بعد المرشح.

تتوقف كفاءة المرشح على قطر جسيمات الأتربة وعددها لوحدة الحجم للهواء، كما تؤثر العوامل التالية على كفاءة المرشح: سرعة الهواء خلال المرشح، ونسبة تركيز الأتربة، وحجم الجسيمات وشكلها وقطرها وثقلها النوعي وخصائصها الطبيعية والكيميائية، الشكل (7- 5) يوضح العلاقة بين كفاءة المرشح وأبعاد الجسيمات. نلاحظ أنه من الاستحالة التخلص من كل المواد العالقة في الهواء لضخامة التكاليف. يتم عادة التخلص من (90%) إلى (95%) من الجسيمات العالقة في الهواء.



شكل (7- 5): العلاقة بين كفاءة المرشح وأبعاد الجسيمات.

يمكن تعيين كفاءة الترشيح بدلالة:

- الوزن الكلي للأتربة المجمعة في وحدة الزمن.
- حجم أصغر جسم يتم التخلص منه بواسطة المرشح.
- تحديد إزالة اللون (Discoloration) للهواء على جانب الطرد للمرشح.

(ب) المقاومة: (Resistance)

مقاومة المرشح عبارة عن انخفاض الضغط الاستاتيكي خلال سمك المرشح بالوحدات $\left(N/m^2\right)$ عند تصميم أنظمة تكييف الهواء، ويجب أن لا يزيد الضغط خلال المرشح عن ربع فرق الضغط خلال المروحة.

الكفاءة (%)	فرق الضغط (N/m^2)	
	الابتدائي	النهائي
40	37.5	175
60	62.5	200
85	87.5	225
95	100	250

جدول (7- 2): فرق الضغط للمرشحات النظيفة الجديدة وفرق الضغط لحظة إبعادها أو تجديدها والتي حددها مكتب القياسات القومي (NPS) الأمريكي.

يلاحظ من خلال الجدول (7- 2) أن حجز الأتربة يعمل على زيادة فرق الضغط خلال المرشح. لو زاد فرق الضغط عن الحد المسموح به، أو قلت كفاءة المرشح أو انخفض معدل سريان الهواء بحوالي (10%)، أو زاد فرق الضغط خلال المرشح إلى ضعف أو ثلاثة أضعاف فرق الضغط الأول يجب تغيير المرشح.

5 5 - اختيار المرشحات: (Selection of Filters)

عند اختيار المرشحات يجب أن نوازن بين متطلبات الترشيح وتكاليف التشغيل. يتم اختيار المرشحات على أساس:

(أ) حجم الأتربة ونوعيتها وكثافتها.

(ب) نوع عملية التكييف ودرجة النقاوة ونسبة تركيز الأتربة المطلوبة.

(ج) طريقة تنظيف المرشحات بعد انسدادها بالأتربة.

(د) كفاءة المرشحات المطلوبة.

(هـ) تكلفة العمالة والطاقة وساعات تشغيل المرشح.

يوضح الجدول (7- 3) اختيار سمك المرشح حسب حجم احتوائه للأتربة ونسبة تركيز الأتربة المحجوزة:

بالنسبة للتطبيقات التي تحتاج إلى تنظيف قليل وبتكلفة قليلة فيمكن اختيار النوع اللزج القابل للتغيير مثال المباني السكنية، أما بالنسبة للتطبيقات التي تحتاج إلى درجة كبيرة من النظافة وحيث التلوث كبير فيمكن اختيار المرشحات الجافة ذات الكفاءة المتوسطة، أو المرشحات الإلكترونية عندما يكون الدخان كثيفا.

فرق الضغط (Pa) عند 1.8m/s	سعة احتواء التراب (kg/1000(L/S))	كفاءة التراب الجوي (%)	وزن المحجوزات (%)	سمك المرشح (mm)
20	0.16-0.32	5-10	20-50	25
35	0.26-0.8	5-15	50-75	45
50	0.4-1.2	5-20	60-80	64
80	0.53-1.7	10-25	70-85	100

جدول(7- 3): اختيار الفلاتر اللزجة

المرشحات الإلكترونية تستخدم غالبا مع المرشحات اللزجة القابلة للغسيل للتخلص من الأجسام الكبيرة أولا، حتى لا يحدث تراكم الأوساخ على سطح المرشح الإلكتروني بسرعة ويستخدم هذا الترتيب في المباني التجارية الكبيرة.

يوضح الجدول (7- 4) كيفية اختيار المرشحات (Filters) حسب كفاءته :

فرق الضغط (Pa)	المقاس القياسي (cm)				موديل المرشح
	60×60×30	60×60×20	30×60×30	30×60×20	
	السعة (L/S)				
37.4	940	810	480	420	M-2A
87.2	940	810	480	420	M-15
100	800	620	410	300	M-100
100	560	430	290	210	M-200
	المساحة الفعالة للترشيح (m^2)				جميع الموديلات
	3.87	2.69	1.93	1.35	

جدول(7- 4): اختيار المرشحات الجافة

تحدد التكلفة الابتدائية والتكلفة التشغيلية في اغلب الأحيان الاختياري الاقتصادي المناسب.

الجدول (7- 5) يبين نوع المرشح حسب تكلفته النسبية:

نوع المرشح	سرعة الهواء (m/s)	مقاومة الهواء (N/m^2)	التكلفة النسبية	
			الابتدائية	النهائية
جاف:				
قابل للتنظيف (5cm)	0.3	20-30	0.95	101
قابل للتجديد (20cm)	0.15	25-30	3.3	1.5
كفاءة عالية قابلة للتجديد	0.1	125-300	9.5-17.6	5.9-7.6
لزج:				
مستهلك (5cm)	1.5	15-30	0.55	1.45
قابل للتجديد (10cm)	1.5	30-60	0.8	2.0
قابل للتنظيف (5cm)	1.5-2.5	10-30	1.0	1.0
تنظيف ذاتي	2.5	75-125	3.6-8	1.9-3
إلكتروني:				
ألواح متأينة	1.5-0	37.5-75	12.4-21.3	2.9-5.9
أوتوماتي التأين	2-2.5	50-80	17.8-31.1	4.3-7.2
وسط مشحون	0.18	7.5-30	10.7-14.2	2.9-3.7

جدول (7- 5): اختيار المرشحات حسب التكلفة النسبية
لفترة(3000) ساعة تشغيل سنوياً.

للتخلص من الأجسام الصغيرة مثل الفيروسات والبكتريا والأجسام المشعة ففي هذه الحالة تستخدم مرشحات الهيبا (HEPA Filters). يمكن التخلص من الفيروسات والبكتريا عن طريق الأشعة فوق البنفسجية أيضا.

للتخلص من الغازات ذات الروائح الكريهة من الهواء تستخدم مرشحات الكربون السامي النشط [Activated carbon(Charcoal)]، أو الألو منيا النشطة (Activated Alumina) مع برمنجنات البوتاسيوم (Potassium Permanganate)، ومثال لذلك المطاعم حيث الحاجة للتخلص من الغازات الناتجة من عمليات الطبخ .

مثال (1) :

تدعو المواصفات إلى مرشح لزج الارتطام مع كفاءة حجز حسب (ASHRAE) تعادل (75%) بالوزن. معدل الفقد في الضغط يجب أن لا يزيد عن (40 Pa). اختر المرشح (السمك ومساحة الواجهة لمناولة $1000\ L/S$). باستخدام الجدول الخاص بأداء الفلاتر اللزجة.

الحل:

باستخدام الجدول (4- 6) للمرشحات اللزجة:

حيث إن كفاءة الاحتجاز = (75%)

وانخفاض الضغط (40 Pa) =

نختار من الجدول المرشح الذي سمكه 45 mm

وانخفاض الضغط (35 Pa) عند سرعة $(1.8\ m/s)$

$$Face\ \ area = \frac{Flow\ \ rate}{velocity}$$ (مساحة واجهة الفلتر) $= \frac{1000 \times 10^{-3}}{1.8} = 0.56\ m^2$

مثال (2):

المرشح الجاف موديل M-200 $(60 \times 60 \times 20)$ في الجدول الخاص بالفلاتر الجافة يستخدم مع معدل سريان $(380\ L/S)$. ما هو أقل انخفاض ضغط متوقع.

الحل:

فقد الضغط في علا قة تناسبية مع مربع سرعة الهواء او مربع معدل السريان الحجمي:

$$\frac{\Delta p'}{\Delta p} = \left(\frac{Q'}{Q}\right)^2$$

وحيث إنه من الجدول (4- 5) للمرشحات الجافة للموديل M-200 $(60 \times 60 \times 20)$

$\Delta p = 100\ \ Pa$, $Q = 430\ L/S$

وحيث إن : $Q' = 380\ L/S$

$$\therefore \Delta p' = 78.09\ \ Pa$$

6 طرق اختبار المرشحات: (Methods of Testing Filters)

تستخدم الطرق التالية في اختبار المرشحات وهي:

6 1 - طريقة الوزن: (Weight Method)

يتم قياس وزن الغبار الذي تم التخلص منه بواسطة المرشح ومقارنته بوزن قياسي لمادة الغبار ذات تركيز وأحجام معروفة.

6 2 - طرق إزالة اللون الموضعي للغبار: (Dust Spot Discoloration Method)

في هذا الاختبار يتم تمرير الهواء أولا على المرشح ثم على ورق ترشيح، والدرجة التي يزال فيها لون ورق الترشيح تعتبر مؤشراً لكمية أجسام الغبار الصغيرة التي لم يتم التخلص منها بواسطة المرشح، وهذا الاختبار هام نسبة لأن هذه الأجسام تسبب اتساخ أسطح الغرفة.

6 3 - طرق اختراق أل DOP: (Di-Octyl-Phthalate Penetration Method)

يستخدم هذا الاختبار لقياس مقدرة المرشح للتخلص من الأجسام الصغيرة جدا، حيث يتم تمرير سحب من مادة (DOP) الكيمائية في خط الهواء عبر المرشح. تركيز الأجسام التي لم يتم حجزها يتم قياسه عند مخرج الهواء باستخدام ضوء مستطير (Scattered Light)، وبهذه الطريقة يتم اختبار فعالية المرشح في التخلص من الأجسام الصغيرة مثل البكتريا بقطر (0.01 – 1) ميكرون، ودخان السجاير بقطر (50 – 03) ميكرون .هذا الاختيار يستخدم كما هو واضح فقط للمرشحات ذات الكفاءة العالية في التخلص من الأجسام الصغيرة.

6 4 - قدرة المرشح على حمل الغبار: (Filter Dust Holding Capacity)

الاختبارات الثلاثة أعلاه تستخدم في قياس كفاءة المرشح في التخلص من الأجسام ولكنها لا تقيس كيف تزيد مقاومة الهواء للمرشح مع تراكم الغبار، والمرشح الذي يحمل كمية معتبرة من الغبار قبل أن تزيد المقاومة بصورة كبيرة يفضل على ذلك الذي له قدرة قليلة على حمل الغبار قبل أن تزيد المقاومة إلى حد معين. هذه الطريقة تعمل على مقارنة وزن الغبار المتجمع مع زيادة مقاومة الهواء خلال المرشح.

تمارين :

1- صمم نظام ترشيح لمعدل سريان $\left(20\ {}^{m^3}\!/_{s}\right)$ من الهواء باستخدام مرشحات جافة موديل M-15 من الجدول (7- 4) ذي الأبعاد $(0.6 \times 0.6 \times 0.3)$ بفرق ضغط للمرشح في الحالة النظيفة أقل من أو يساوى $(70\ Pa)$.

2- نظام ترشيح هواء يناول $\left(2800\ {}^{L}\!/_{S}\right)$ من الهواء ويستخدم موديل M-24 من الجدول (7-4) ذا الأبعاد $(30 \times 60 \times 20)$. إذا كان فاقد الضغط يجب أن يكون أقل من أو يساوي $(25\ Pa)$ للمرشحات النظيفة. ما عدد الموديلات المطلوبة؟

3- مرشح موديل M-24 أبعاده $(60 \times 60 \times 30)$. يزعم استخدامه مع معدل سريان $\left(600\ {}^{L}\!/_{S}\right)$. ما هو فاقد الضغط المتوقع ؟

4- تدعو المواصفات إلى استخدام فلاتر لزجة مع كفاءة (ASHRAE) للحجز بالوزن $(70\,\%)$ إذا كان فاقد الضغط يجب أن لا يزيد على $(25\ pa)$ ، اختر فلتر ليناول $\left(500\ {}^{L}\!/_{S}\right)$ وحدد سمكه ومساحة واجهته باستخدام جدول أداء الفلاتر اللزجة.

5- اختر نظام فلتر له الكفاءة المثالية $(95\,\%)$ في مدى أبعاد الجسيمات من $\left(0 - 5 \times 10^{-3}\ mm\right)$ ، يجب أن يتناول النظام $\left(110\ {}^{L}\!/_{S}\right)$ مع أقصى انخفاض للضغط أقل من أو يساوي $(60\ Pa)$ المكان يحدد عمق الفلتر بـ $(20\ cm)$.

الوحدة الثامنة

الاختبار والضبط والموازنة لأنظمة التكييف

الوحدة الثامنة : الاختبار والضبط والموازنة لأنظمة التكييف

Testing, adjusting and balancing of
Air Conditioning systems

الجدارة:

اختبار وضبط و موازنة أنظمة توزيع الماء والهواء ومعدات التكييف.

الأهداف : عندما تكتمل هذه الوحدة تكون قادراً على:

1. معرفة إجراءات عمليات الاختبار والضبط والموازنة لأنظمة الماء في التكييف المركزي.
2. معرفة إجراءات عمليات الاختبار والضبط والموازنة لأنظمة الهواء في التكييف المركزي.
3. معرفة إجراء عمليات الاختبار والضبط والموازنة لمعدات التكييف.
4. معرفة كيف يتم اختبار جودة الهواء للاماكن المكيفة.

الوقت المتوقع للتدريب:

3 ساعات دراسية.

الوحدة الثامنة : الاختبار والضبط والموازنة لأنظمة التكييف

Testing, adjusting and balancing of
Air Conditioning systems

1 - مقدمة (Introduction)

تعتبر عمليات الاختبار والضبط والموازنة لمنظومات التكييف المركزي في غاية الأهمية للتأكد من أن المنظومة وكل عناصرها تعمل بصورة طبيعية، وتلبي جميع متطلبات التصميم وذلك من ناحية احترام كراس الشروط والمطابقة للمواصفات الفنية والأداء الكمي.

لا يتم البدء في أعمال الاختبار والضبط والموازنة قبل الانتهاء بالكامل من جميع الأعمال، وبدء التشغيل التجريبي للنظام والذي يشمل التأكد من أن جميع المعدات تعمل بأمان وتحت ظروف التشغيل العادية، وأن جميع أنظمة التحكم والكهرباء مركبة بالكامل وتعمل بكفاءة. تتضمن عمليات الاختبار والضبط والموازنة إجراء اختبارات أثناء التركيب، واختبارات قبل وأثناء التسليم، ويجب أن تكون أنظمة وأجهزة الاختبار والضبط والموازنة مطابقة للمواصفات المرجعية.

2 - تعريف المصطلحات الفنية (Technical terminology)

فيما يلي تعريف للمصطلحات الفنية المستعملة في عمليات الاختبار والضبط والموازنة:

- اختبار (testing): تحديد الأداء الكمي للجهاز.
- ضبط (adjusting): تنظيم نسبة سريان السائل أو الهواء المقررة عند الوحدة الطرفية (مثال: تخفيف سرعة المروحة، ضبط الخانق).
- موازنة (balancing) : جعل السريان مناسباً ضمن نظام التوزيع (الخطوط الرئيسة الفرعية والفروع والوحدات الطرفية) طبقاً للكميات المحددة في التصميم.
- خط الرئيس (main) : مجرى الهواء أو االأنبوبة الحاوي على معظم أو جميع سائل أو هواء النظام.
- فرع (branch) : مجرى الهواء أو االأنبوبة التي تخدم نهاية طرفية واحدة.

- أسلوب (procedure) : سبل الوصول إلى تنفيذ عمل متسلسل الخطوات ليعطي نتائج متكررة.
- استمارات تقارير (report forms) : صفحات بيانات الاختبار منظمة بطريقة تسمح بجمع هذه البيانات بترتيب منطقي للعرض والمراجعة، بحيث تشكل سجلاً دائماً للاستعمال كأساس لأعمال الاختبار والضبط والموازنة المستقبلية.

3 - الاختبار والضبط والموازنة لأنظمة تكييف الهواء المركزي
(Testing, Adjusting and Balancing of A/C central systems)

تجري عمليات الاختبار والضبط والموازنة لمنظومات التكييف المركزي، أو ما يعرف بعمليات TAB نسبة إلى Testing Adjusting and Balancing ، وعادة من طرف الشركة المنفذة للمشروع. أما بالنسبة لأنظمة التكييف الكبيرة فتوكل العملية لجهة استشارية أخرى متخصصة، وذلك للصعوبات والخطوات الطويلة التي تحتاجها العملية، وكذلك للتأكد من أداء عمل الأجهزة والنظام عموما بالصورة المطلوبة بواسطة جهة محايدة.

3 - 1 الاختبار والضبط والموازنة لأنظمة توزيع الهواء (TAB of Air ducts systems):

تشمل عمليات اختبار وضبط و موازنة أنظمة توزيع الهواء ما يلي:

- مراجعة اتجاه المراوح ووضع خوانق الهواء و خوانق الحريق في الوضع المفتوح والتأكد من نظافة الزعانف وتمشيطها، وأن جميع أبواب الخدمة مغلقة والسدادات في أماكنها، وأن جميع المخارج قد تم تركيبها وتوصيلها، وأن يكون معدل التسريب بمجارى الهواء طبقاً للنسب المسموح بها.
- التأكد من أن جميع الفتحات المطلوبة للموازنة والاختبار قد تم تنفيذها طبقاً لمتطلبات عمليات الاختبار والضبط والموازنة، وبحيث يكون في مجرى هواء مستقيم وعلى مسافة أبعد ما يمكن من الأكواع والمنحنيات والمآخذ وأية مصدر يسبب حدوث دوامات هوائية في اتجاه سريان الهواء، وذلك للحصول على أفضل قياسات لسريان الهواء.
- ضبط أنظمة ضخ الهواء لتعطى كمية الهواء المطلوبة بالتصميم.
- ضبط كميات هواء النظام الكلية بصفة عامة بواسطة ضبط سرعات المروحة، ولا تستعمل طريقة التضييق على سريان الهواء الكلى للنظام بواسطة الخوانق إلا في الأنظمة ذات

المراوح المحورية، غير المزودة بوسيلة ضبط خطوة الريش، وعلى أن يكون ضغط النظام أقل من 120 باسكال وأن لا تتعدى شدة الصوت القيم المسموح بها.

- جعل حركة الهواء وتوزيعه حسب ما هو موصوف ومشار إليه في المواصفات، ويجوز إضافة إلى قياسات كميات الهواء القيام باختبارات الدخان عندما يطلب منه ذلك، ليبين عملياً كيفية توزيع الهواء من مخارج الهواء.
- الموازنة بين تمديدات مجارى الهواء الرئيسة والفرعية بضبط الخوانق المركبة على هذه المجارى، لتؤمن سرعة منتظمة عبر مداخل الهواء للوحدات الطرفية قبل قياس معدلات سريان الهواء. تستعمل الخوانق بالمخارج لموازنة كميات الهواء النسبية بين مخارج الهواء المختلفة بنفس الفرع، وتستخدم فقط إلى مدى الضبط الذي لا يسمح بظهور أصوات أو حركة هواء غير مقبولة. وتؤخذ القياسات لكميات الهواء بعد ضبط مخارج الهواء، لتعطى القيم التصميمية لتوزيع الهواء بحد أقصى للتفاوت 15٪ أو طبقاً لمواصفات المشروع.
- موازنة مخارج الهواء بقياس معدلات السريان بواسطة استعمال أجهزة قياس سرعة الهواء لكل مخرج، أو عن طريق قياس درجات الحرارة في كل غرفة.

(أ) الموازنة عن طريق قياس السرعة:

الموازنة تتمثل في قياس سرعة سريان الهواء خلال كل مسار فرعي، وعندما تكون السرعة عالية خلال مسار ما وتفوق القيمة المحددة عند التصميم، يجب غلق الخانق جزئيا لذلك المسار لتخفيف السرعة خلاله وإعادة توزيع الهواء إلى المسارات الأخرى. عند استعمال هذه الطريقة يجب معرفة سرعة تدفق الهواء حسب متطلبات التصميم لكل غرفة. تتم العملية تدريجيا وتبدأ بضبط وتوزيع هواء المجرى الرئيس على الفروع بالنسب اللازمة، حسب متطلبات التصميم، ويتم ذلك بفتح جميع الخوانق وألواح النواشر بالكامل، ثم ضبط خوانق الموازنة للفرع الأول من المجرى الرئيس ليوزع الهواء عند النسب المطلوبة، وتعاد العملية لبقية الفروع. بعد تنفيذ هذه العملية بكل الفروع تكون هناك موازنة نسبية، ومهما كانت سرعة تدفق الهواء في المجرى الرئيس فستوزع على الفروع بالنسب المضبوطة سابقا.

(ب) الموازنة عن طريق قياس درجة الحرارة:

يوضع ترمومتر في كل غرفة وواحد عند ترموستات التحكم، ثم تشغل وحدة التكييف أو التسخين إلى حد استقرار درجات الحرارة في كل الغرف. عند توازن المنظومة تكون درجة الحرارة متساوية في كل الغرف، وأي فرق يدل على عدم التوازن. لنأخذ عملية تكييف مثلا، فبالنسبة للغرف التي تكون درجة حرارتها أبرد يتم غلق الخانق جزئيا للمسار المؤدي لها لتخفيف السرعة خلاله، وإعادة توزيع الهواء إلى المسارات الأخرى والعكس بالعكس، وعليه تعاد العملية إلى أن تتعادل درجات الحرارة.

وتختلف موازنة أنظمة الهواء حسب النظام المعتمد فهناك عدة أنظمة هوائية منها :

- نظام مجرى الهواء المفرد ذوحجم الهواء الثابت.
- نظام مجاري الهواء المزدوجة.
- نظام حجم الهواء المتغير.
- الأنظمة الحثية.

مثال - 1 : موازنة نظام مجرى الهواء المفرد ذو حجم الهواء الثابت.

تكون الموازنة كما يلي:

أولا: وضع مراوح هواء التغذية والهواء الراجع والهواء المطرود في حالة تشغيل والتأكد من التالي:

- خصائص المحرك الكهربائي (الأمبير والفولت).
- دوران المروحة.
- أداء المفتاح الحدي للضغط الساكن.
- الأوضاع الصحيحة للخامدات الآلية.
- أداء أجهزة التحكم الهواء لإعطاء درجات الحرارة المطلوبة.
- عدم تسرب الهواء من الغلاف ومن الأوشحة حول الملفات ومن إطارات المرشحات و تغلق بإحكام جميع أماكن التسرب.
- ملء جميع فتحات تثبيت اللوحات في الوحدات مسبقة الصنع وذلك لمنع حدوث صفير.

- معاينة سالمة النقاط التي تدخل منها الأنابيب في أغلفة الأجهزة، للتأكد من أن الجلب سليمة وأن عزل الأنابيب لا يستخدم كمانع تسرب لهذه الفتحات بين الأنابيب والأغلفة وذلك لتجنب انكماش العازل.

ثانيا: يتم التقاطع مع مجرى الهواء الرئيسة للهواء المكيف ومجاري الهواء الفرعية الرئيسة كلما أمكن ذلك. وأيضا بالأماكن التي تسمح بتمديدات مجاري الهواء عبرها. حيث يتم اختيار طريقة التقاطع وأماكنها حسب ما هو مذكور في الإصدار الأخير لـ ASHRAE Equipment Handbook والمواصفات المرجعية.

ثالثا: ضبط النظام لموازنته بوضع جميع خوانق الهواء الخارجي بأدنى وضعية إدخال للهواء.

رابعا: موازنة المخارج الطرفية لكل منطقة تحكم بشكل متناسب مع بعضها كالتالي:

- بعد ضبط كمية الهواء المبدئي للمروحة المركزية، يتم التوزيع التناسبي والموازنة لمخارج الأجهزة الطرفية ابتداءً من المخارج ثم فروع مجاري الهواء فالمروحة، ويجب التركيز على التوزيع التناسبي لسريان الهواء بدلاً من كمية الهواء المطلقة، وتبقى كميات الهواء في الأجهزة الطرفية متناسبة عند أي تغيير يتم على أوضاع الضبط للمروحة وخوانق الفروع، ويتم استخدام خوانق الفروع لعمليات الضبط الرئيسة، بينما تستخدم الخوانق الطرفية لعمليات الضبط الثانوية. في حالة صدور أصوات عند استخدام الخوانق الطرفية، يوصى المقاول بتركيب خامدات للفروع الصغرى.

- يجب المرور عدد من المرات على النظام ككل للحصول على قيم تصريف صحيحة من المخارج.

- يمثل الفرق بين كميات الهواء في مجاري هواء التغذية وكميات الهواء عند مخارج الهواء الهواء المتسرب من المجاري.

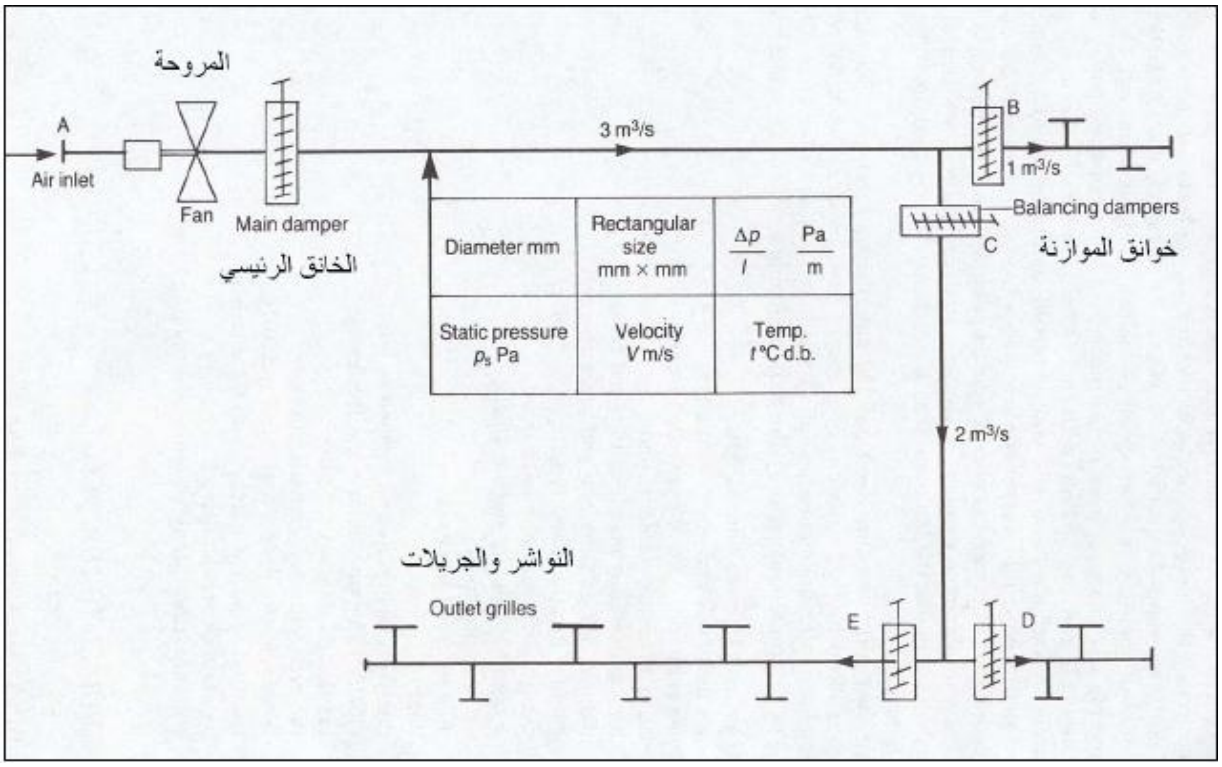
- بعد أن تثبت كميات الهواء التصميمية في الفروع، يتم تسجيل شدة التيار (الأمبير) لمحرك المروحة، والضغط الاستاتيكي عبر المروحة ولكل عنصر (مداخل الهواء، المرشحات، الملفات، خوانق الخلط).

فمثلا بالنسبة لنموذج شبكة توزيع هواء الممثلة بالشكل (8- 1)، فبعد فتح جميع الخوانق والنواشر والجريلات، تضبط بوابات الموازنة B و C عند نسب سرعة التدفق التالية:

$Q_A = 3m^3/s \rightarrow 100\% -$

$Q_B = 1m^3/s \rightarrow 33\% -$

$Q_C = 2m^3/s \rightarrow 67\% -$



الشكل (8-1): نظام مجرى ذو حجم ثابت.

إن ضبط الخوانق سيغير فقد الضغط خلال شبكة توزيع الهواء، وبالتالي يؤثر على سرعة تدفق الهواء خلال المروحة. وبعد الانتهاء من ضبط التوزيع النسبي خلال كل الفروع، يجب ضبط خانق المجرى الرئيس(A) للتحصل على السرعة المطلوبة حسب متطلبات التصميم. إن لزم الأمر يجب تغيير سرعة المروحة باختيار القطر المناسب للبكرات، أو باستخدام وضبط بكرات ذات فك متحرك .

3 - 2 الاختبار والضبط والموازنة لأنظمة توزيع الماء

(TAB of water distribution systems)

يتطلب البدء بعمليات الضبط والموازنة لأنظمة توزيع الماء ضرورة للانتهاء من موازنة وضبط الهواء بشكل كامل، ويجب أن تتوافق إجراءات موازنة أنظمة المياه بتلك المذكورة في الإصدار الأخير لـ ASHRAE Equipment Handbook والمواصفة المرجعية.

تتم إجراءات الاختبار والضبط وموازنة الدوائر الأولية والثانوية لشبكة توزيع الماء كالتالي:

- فحص الرسومات البيانية واختبار النظام بالكامل للتأكد من:
  - كسح النظام بالماء المتدفق وتنظيفه وطرد الهواء منه.
  - فتح أو وضع جميع الصمامات اليدوية بوضع التشغيل، وتكون جميع الصمامات الآلية في مواضعها الصحيحة وفي حالة تشغيل.
  - تعبئة خزان التمدد بشكل صحيح.
- وضع أجهزة التحكم في موضعها الصحيح لتأمين السريان التصميمي.
- فحص مخطط سير العمليات وتمديدات الأنابيب للدوائر القصيرة والتأكد من سريان المياه وضبط صمامات الموازنة.
- استخدام أجهزة قياس معتمدة لقياس معدلات السريان والضغط وموازنة الأنظمة، وتستخدم محابس الموازنة ومحابس التحكم في أعمال الضبط، ولا تستخدم محابس الخدمة في ذلك.
- تسجيل قراءات سحب المضخات والتصريف والضغط التفاضلي، وذلك عند السريان الكامل وعند توقف السريان. تغلق الصمامات ببطء لتجنب ظروف عدم السريان غير الآمنة في تصريف المضخات الكبيرة.
- ضبط جميع أنظمة المياه للتدفئة والتبريد والمكثف، لتعطى كميات المياه المطلوبة إلى أو خلال أي جزء من الأنظمة.
- تسجيل قراءات التيار والفولت لكل محركات المضخات وتحديد القدرة التقريبية.
- إنشاء منحنيات بيانية لكل مضخة وتحديد معدل السريان التقريبي، إذا كان هناك محطة ضخ للسريان ، فيحدد السريان ويقارن بالسريان المسجل على المنحنيات البيانية ويتم تثبيت هذا السريان (إذا أمكن) بزيادة 10٪. ثم المحافظة على هذا السريان بقيمة ثابتة أثناء إجراء الموازنة بواسطة صمام الموازنة، وإذا كان هناك محطات سريان للفروع، فيتم اختبارها وضبطها بتثبيت سريان قليل ابتداءً من أقصر تمديد ثم إلى التمديدات الأطول.

إذا كان هناك دائرة ضخ أولية ودائرة ضخ ثانوية مدمجتين في النظام، فتتم الموازنة أولاً في الدائرة الحلقية الأولى قبل الدائرة الحلقية الثانوية. تكون المضخات الثانوية عاملة والوحدات الطرفية مفتوحة للسريان أثناء موازنة الدائرة الحلقية الأولى، إلا إذا كانت الحلقة الثانوية غير مقرونة بالحلقة الأولية.

- ضبط الأنظمة قبل إجراء اختبارات السعة، لتحقيق فقد الضغط التصميمي من خلال أجهزة التبادل الحراري، وعندما لا توجد معدات ملحقة بالنظام لقياس سريان الماء يتم موازنة سريان الماء بواسطة قياس اختلاف درجتي الحرارة عبر أجهزة التبادل الحراري أثناء عمل نظام الهواء.
- فتح محابس التحكم الآلية بحيث تسمح بمرور كمية المياه الكلية خلال أجهزة التبادل الحراري للنظام أثناء الاختبارات، كما يتم ضبط سريان الماء خلال التحويله للمحابس ذات الاتجاهات الثلاثية لموازنة السريان الكلى خلال الدوائر المغذية.

- حفظ سجلات دقيقة عند القيام بالقياسات في الموقع، وتكون تقارير الاختبارات في الموقع فعلية ومؤرخة وموقعة.

3 3 - الاختبار والضبط والموازنة لمعدات التكييف (TAB of A/C equipments):

تتم إجراءات الاختبارات طبقاً للمواصفات التالية: ASTM Standard PTC 23, (1986) و CTI Standard Specification ATC-10 (1990) من Handbook ASHRAE Equipment. وتشمل مايلي:

- فحص المضخات والمبردات والغلايات بعد إتمام ضبط المبادلات الحرارية.
- قياس الفقد في الضغط عند كل مبادل حراري عند معدل السريان المحدد لعملية التكييف، ثم اعادة ضبطه عبر محبس التحويلة لتلاءم الفقد في ضغط المبادل الحراري أثناء السريان، لمنع حدوث حالات عدم توازن للسريان عندما تكون المبادلات في حالة تشغيل قصوى.
- التدقيق على البنود التالية و تسجيلها لكل جهاز من منظومة التبريد والتدفئة:
  - درجتي حرارة الدخول للماء والهواء.
  - درجتي حرارة الخروج للماء والهواء.

- الفقد في ضغط الهواء والماء لكل مبادل.
- ضغط التشغيل للسحب والطرد والرفع المانومترى الكلى النهائى للمضخات
- التيار المسجل وتيار التشغيل الفعلي لمحرك المضخة.
- قراءات جهاز معدل السريان.

- اختبارأجهزة التحكم للتأكد من أن ضواغط التبريد لا تعمل ما لم تعمل مضخات ماء أو مراوح المكثف أو مضخات الماء المبرد أو مراوح برج التبريد.
- التأكد من حالة مفاتيح الضغط التفاضلي و مفاتيح سريان الماء للتأكد من أن ضواغط التبريد لا تعمل ما لم يكن هناك حجم كاف من الماء يسرى داخل المبرد والمكثف وطبق نفس الأسلوب للتاكد من أداء الغلاية.
- اختبار أجهزة التحكم للتأكد من أن ضاغط التبريد سيتوقف عن العمل في الحالات التالية:

- أي خلل يصيب تغذية زيت التزييت.
- ارتفاع غير طبيعي لضغط الطرد لمادة التبريد.
- انخفاض غير طبيعي لضغط السحب لمادة التبريد.
- حرارة منخفضة غير طبيعية للماء الخارج من المبرد.

- اختبار عمل أجهزة ضبط الرطوبة والمرطبات للتأكد من أن المرطبات لا تعمل في حالة انقطاع الكهرباء أو توقف المروحة.
- اختبر المفاتيح اليدوية في لوحة التحكم الرئيسة مع لمبات البيان للتأكد من عملهم بشكل صحيح.
- اختبار سعة المعدات عند ظروف التشغيل الفعلية.

تجرى اختبارات مستوى الضوضاء الصادرة من وحدات تكييف الهواء في أماكن مختارة من المباني لبيان مدى مطابقتها للقيم الموصى بها، وتجرى الاختبارات بأجهزة معتمدة ومعايرة وتؤخذ القراءات اللازمة.

إذا كان مستوى الضوضاء أعلى مما هو مطلوب بالمشروع فإنه يجرى الضبط اللازم لجعله ضمن المدى المطلوب وإذا لم يكن بالإمكان الوصول إلى هذا المدى بالأجهزة المركبة، فتعطى التوصيات للإصلاح للوصول إلى مستوى الضوضاء المطلوب .

تؤخذ القراءات عند مخارج الهواء السقفية والجانبية، على ارتفاع 1.5م تقريباً من الأرض وعلى خط مائل 45 درجة يصل لمنتصف مخارج الهواء.

3 4 - اختبار جودة الهواء في الأماكن المكيفة :

(Test the air quality in air conditioned places)

تعتبر جودة البيئة الداخلية فئة في معايير ليد (LEED) التي ترمز Leadership in Energy and Environnemental Design) وواحدة من الفئات الخمس البيئية لتوفير الراحة والرفاهية، والإنتاجية لشاغلها. تسعى معايير نوعية الهواء الداخلي (Internal Air Quality) "IAQ" للحد من المركبات العضوية المتطايرة، والشوائب الجوية الأخرى مثل الملوثات الميكروبية، وتعتمد المباني على نظام التهوية المصممة بشكل صحيح لتوفير التهوية الكافية من الهواء النظيف. والمهم أيضا لنوعية الهواء الداخلي هو السيطرة على تراكم الرطوبة الذي يؤدي إلى نمو العفن ووجود البكتيريا والفيروسات، وكذلك ذرات الغبار وغيرها من الكائنات الميكروبيولوجية. يساعد العزل الجيد على حل مشكلة الرطوبة، ولكن التهوية الكافية، حسب مواصفات الجمعية الأمريكية لمهندسي التدفئة والتبريد وتكييف الهواء (Ashrae standard 62-2007)، ضرورية أيضا من أجل ازالة على الرطوبة في الداخل. ويشترط توفر تهوية مناسبة لمستخدمي المبنى و ضمان جودة الهواء الداخلي حسب الإرشادات الفنية:

- إجراء فحوص جودة الهواء الداخلي لتشمل جميع الملوثات الموضحة في الجدول (8- 1) لضمان جودة هواء داخلي مناسبة لمستخدمي المبنى، بحيث لا تتجاوز ملوثات الهواء الداخلي الحدود المسموح بها الموضحة في الجدول نفسه.

- ضرورة إجراء قياس جودة الهواء من قبل شركات ومختبرات متخصصة معتمدة، وإرسال نتائج الفحوص المطابقة إلى إدارة المشروع أو المالك.

- معايرة أجهزة قياس جودة الهواء الداخلي معايرة أولية، وبصورة دورية حسب متطلبات الشركة المصنعة على أن تتم المعايرة مرة واحدة بالسنة على الأقل، وذلك من قبل شركات معايرة متخصصة، وأن يتم حفظ شهادات المعايرة الأولية والدورية في سجل خاص للتدقيق من قبل الإدارة المسئولة، وذلك للتأكد من دقة القراءات و من جودة الهواء الداخلي في الأماكن المكيفة.

نوع الملوثات	النسبة القصوى المسموح بها
الفورمالديهايد (Formaldehyde)	0.08 ppm <
العدد الكلي للمركبات العضوية المتطايرة	300 $\mu g/m^3$ <
الجزيئات العالقة (10 µm)	150 $\mu g/m^3$ <
الأوزون (O_3)	0.06 ppm <
ثاني أكسيد الكربون (CO_2)	800 ppm <
أول أكسيد الكربون (CO)	9 ppm <
العدد الكلي للبكتيريا	500 $unit/m^3$ <
العدد الكلي للفطريات	500 $unit/m^3$ <

(1ppm=2.5 mg/m^3)

الجدول (8-1): الحد الأقصى من ملوثات الهواء الداخلي

4- التقرير الخاص بمشروع الاختبار والضبط والموازنة:

(Testing, Adjusting and Balancing report for central A/C systems)

يجب أن يشتمل تقرير الاختبار والضبط والموازنة الآتي:

(أ) الفهرس (Index)

(ب) المقدمة (Preface)

تحتوي على مناقشة عامة للجهاز، نوعية التهوية وأي ظروف تشغيل غير اعتيادية وكذلك على نواحي القصور التي لم يتم تصحيحها.

(ت) أجهزة القياس (Measuring instruments)

يجب تجهيز قائمة بجميع أجهزة القياس تشمل النوع ، الموديل ، المدى وتاريخ المعايرة .
جميع الأجهزة يجب معايرتها خلال (6) أشهر قبل تاريخ البدء في مشروع (TAB).

(ث) وحدات مناولة الهواء (AHU)، **وحدات ملف مروحة** (Fan coil units),...

- الشركة المصنعة، الموديل، المقاس ورقم التسلسل.
- قيمة التصميم والقيمة الفعلية لمعدل السريان (التغذية، الراجع والهواء الخارجي)
- قيمة التصميم والقيمة الحقيقية لعدد اللفات في الدقيقة (*RPM*).
- الضغط الاستاتيكي عند الدخول والخروج للمرشحات، الملفات والمروحة .
- معطيات لوحة بيانات المحركات.
- معطيات بادئ الحركة للمحرك ومقاس قاطع الوقاية.
- التيار الحقيقي المسحوب بواسطة الضاغط وكذلك الجهد لكل الأوجه.
- نوع، مقاس وسعة المرشح.

(ج) الصناديق الطرفية (Terminal boxes)

- الشركة المصنعة، الموديل والمقاس.
- الموقع.
- معدل السريان للتصميم ومعدل السريان الفعلي للهواء الأولي (أعلى وأدنى قيمة).
- معدل السريان للتصميم الفعلي للمروحة إذا وجدت.
- قدرة السخان في مجرى الهواء، وكذلك فرق درجة الحرارة الحقيقي عبر ملفات التسخين إذا وجدت.
- درجات الحرارة الفعلية الداخلة والخارجة للهواء، عند ملفات الماء الساخن إذا وجدت.

(ح) أجهزة توزيع الهواء (Air distribution devices)

- الشركة المصنعة، الموديل، المقاس.
- الموقع.
- معدل السريان للتصميم ومعدل السريان الفعلي (تبريد وتسخين).
- سرعة الهواء المطلوبة والفعلية.

(خ) مراوح التغذية / الشفط (Supply / Exhaust fans)

- الشركة المصنعة، الموديل، المقاس.
- قيمة التصميم والقيمة الفعلية لمعدل السريان.
- قيمة التصميم والقيمة الفعلية لسرعة الدوران.
- قيمة التصميم والقيمة الفعلية للضغط الاستاتيكي.
- معطيات لوحة بيانات المحرك.
- بيانات بادئ الحركة للمحرك ومقاس وبيانات قاطع الوقاية.
- القيمة الفعلية للتيار المسحوب بواسطة المحرك وكذلك الجهد لكل الأوجه.

(د) ملفات الماء (Water coils)

- الشركة المصنعة.
- قيمة التصميم والقيمة الفعلية لمعدل السريان.
- قيمة التصميم والقيمة الفعلية للضغط الاستاتيكي.
- قيمة التصميم والقيمة الفعلية لدرجة حرارة دخول الهواء.
- قيمة التصميم والقيمة الفعلية لدرجة حرارة خروج الهواء.
- درجة الحرارة الفعلية للهواء الخارجي.
- قيمة التصميم والقيمة الفعلية الدرجة حرارة دخول الماء.
- قيمة التصميم والقيمة الفعلية لدرجة حرارة خروج الماء.
- قيمة التصميم والقيمة الفعلية لهبوط الضغط للملف.

(ذ) المضخات (Pumps)

- الشركة المصنعة، الموديل، المقاس.
- مقاس الريش المطلوبة حسب التصميم من منحنيات الأداء للمضخة من الشركة المصنعة.
- ضغوط السحب وضغوط الطرد الحقيقية للمضخة.
- عمود الارتفاع للمضخة الفعلي وحسب التصميم.
- معدل التصريف الفعلي وحسب التصميم للمضخة.
- بيانات المحرك.

- بيانات بادئ الحركة وقاطع الوقاية.
- التيار الحقيقي المسحوب بواسطة المضخة وكذلك الجهد لكل الأوجه.

(ر) مثلجات الماء (Water chillers)

- الشركة المصنعة، الموديل، المقاس.
- سعة التبريد بالطن تبريد.
- هبوط الضغط الفعلي وحسب التصميم لمثلج الماء.
- معدل السريان الفعلي وحسب التصميم للمكثف.
- معدل السريان الفعلي وحسب التصميم خلال المكثف.
- درجة الحرارة الخارجة والداخلة للماء البارد عند (100 %) حمل.

(ز) المراجل (Boilers)

- الشركة المصنعة، الموديل، المقاس.
- السعة المقدرة (Rated capacity) .
- هبوط الضغط الفعلي وحسب التصميم للماء.
- معدل السريان الفعلي وحسب التصميم للمرجل.
- درجة حرارة دخول وخروج الماء الفعلية وحسب التصميم عند الاحتراق الكامل وعند أقصى حمولة.

(س) **أبراج التبريد** (Cooling towers)

- الشركة المصنعة، الموديل، المقاس.
- السعة & Tons of cooling m^3/s .
- درجة حرارة دخول الماء.
- درجة حرارة خروج الماء.
- تيار التشغيل عند أقصى سرعة للمروحة.
- تيار التشغيل عند أدنى سرعة للمروحة.
- أقصى تيار مقدر (Rated) لمحرك المروحة.

تمارين :

1 -وضح ما المقصود بالاختبار والضبط والموازنة لجهاز التكييف المركزي ؟.

2 -اذكر أسماء ووظائف أربعة من أجهزة القياس اللازم استخدامها في عملية اختبار وموازنة أنظمة توزيع الماء.

3 -ما اسم الجهاز الذي يستخدم لقياس نسبة تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الغرف ؟.

4 -عدد الاحتياطات والخطوات اللازم إتباعها عند الحاجة لاختبار برج التبريد.

اختبار ذاتي

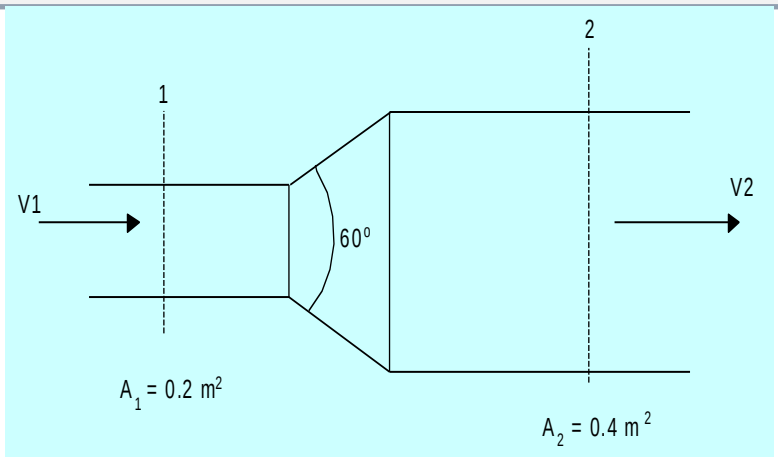
أجب على جميع الأسئلة التالية :

السؤال الأول:

5. اذكر أنواع حوامل وعلاقات أنابيب الماء.
6. عدد الطرق المستخدمة في امتصاص:
   - التمدد والانكماش في الأنابيب.
   - الاهتزاز في الأنابيب.
7. اذكر أنواع الصمامات التي تستخدم في أنظمة الماء . صف تركيبها وتكوينها.
8. بين وظيفة خزان التمدد في نظام التكييف المركزي وارسم مخططاً يوضح مكان تركيبه في دورة الماء.

السؤال الثاني :

(أ) الجزء الإنتقالي المستطيل في الشكل أدناه يتناول $\left(2\ {}^{m^3}\!/_{s}\right)$ من الهواء. مستخدماً الجدول الخاص بالتركيبة أوجد فاقد الضغط خلال التركيبة.



(ب) المطلوب اختيار ناشر سقف دائري لمكتب خاص أبعاده $(18 \times 10\ m)$ له معدل سريان $(2000\ L/S)$. إذا كان الحمل الحراري نتيجة للإضاءة، الناس وانتقال الحرارة بالتسريب متجانس. ارتفاع السقف $(3\ m)$. إذا علمت أن مستوى الصوت المسموح به $(NC = 35\ dB)$

C									
R_e	A_1/A_0	θ , deg							
		16	20	30	45	60	90	120	180
0.5×10^5	2	0.23	0.19	0.32	0.33	0.33	0.32	0.31	0.30
	4	0.23	0.30	0.46	0.61	0.68	0.64	0.63	0.62
	6	0.27	0.33	0.48	0.66	0.77	0.74	0.73	0.72
	10	0.29	0.38	0.59	0.76	0.80	0.83	0.84	0.83
	≥ 16	0.31	0.38	0.60	0.84	0.88	0.88	0.88	0.88
2×10^5	2	0.07	0.12	0.23	0.28	0.27	0.27	0.27	0.26
	4	0.15	0.18	0.36	0.55	0.59	0.59	0.58	0.57
	6	0.19	0.28	0.44	0.90	0.70	0.71	0.71	0.69
	10	0.20	0.24	0.43	0.76	0.80	0.81	0.81	0.81
	≥ 16	0.21	0.28	0.52	0.76	0.87	0.87	0.87	0.87
$\geq 6\times10^5$	2	0.05	0.07	0.12	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
	4	0.17	0.24	0.38	0.51	0.56	0.58	0.58	0.57
	6	0.16	0.29	0.46	.060	0.69	0.71	0.70	0.70
	10	0.21	0.33	0.52	0.60	0.76	0.83	.084	0.83
	≥ 16	0.21	0.34	0.56	0.72	0.79	0.85	0.87	0.89

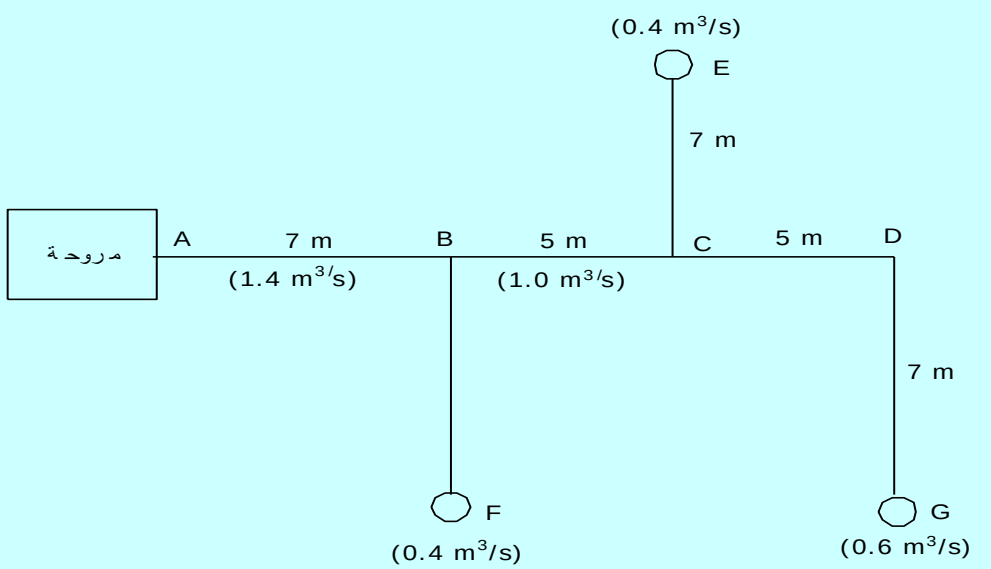
حيث إن : $Re = 0.55\times10^5\ DV$

R_e : رقم رينولدز

D : القطر عند المدخل (m)

V : السرعة عند المدخل (m/s)

السؤال الثالث :



الشكل لمجرى هواء مستطيل من نظام تكييف مركزي لمكتب خصوصي. يتم توزيع الهواء من خلال المخارج E, F بمعدل $\left(0.4\ {}^{m^3}/_{s}\right)$ وخلال المخرج G بمعدل $\left(0.6\ {}^{m^3}/_{s}\right)$

(أ) أوجد أبعاد المجرى والسرعات لكل مقطع من المجرى الدائري مستخدما طريقة الاحتكاك المتساوي.

(ب) أوجد هبوط الضغط الكلي لأطول مسار للمجرى. (أهمل هبوط الضغط في الإنتقالات B,C) ومعامل الفقد للمخرج G يساوي $C = 1.0$

(ج) افرض أن الكوع (D) له نسبة ${}^{R}/_{W} = 1.5$

م	المقطع	الأبعاد(cm)	السرعة (m/s)
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			

السؤال الرابع :

دورة ماء لنظام تكييف مركزي تتكون من مسارات تحمل $\left(2,\ 20,\ 60\ {}^{kg}/_{s}\right)$ ماء بارداً عند درجة حرارة $\left(7.5^{o}C\right)$. صمم أقطار الأنابيب لها ثم أوجد معدلات هبوط الضغط والسرعات.

السرعة (m/s)	**هبوط الضغط** (Pa)	**القطر** (mm)	**معدل السريان** (kg/s)

السؤال الخامس :

1. ما التأثيرات الضارة للملوثات الغازية ؟.
2. اذكر طرق التحكم في جودة الهواء الداخلي.
3. اشرح طرق تعقيم الهواء.
4. صف الأنواع المختلفة لمرشحات الهواء وما استخداماتها المختلفة ؟ وكيف يتم اختبارها؟.

السؤال السادس :

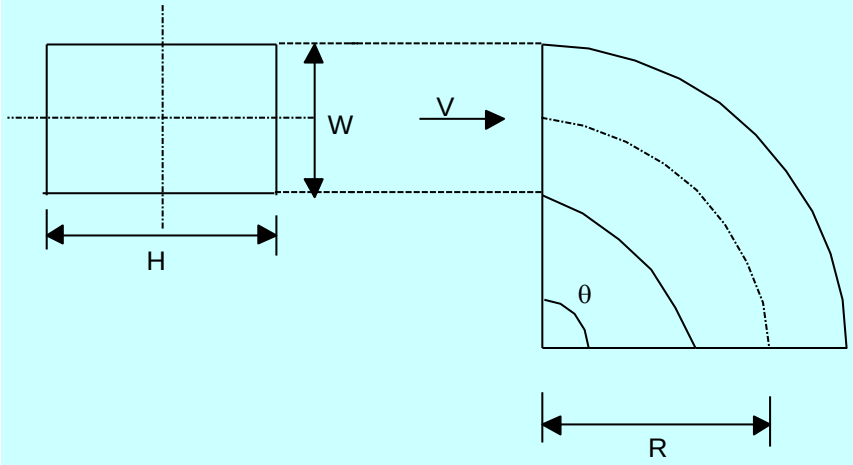
(أ) المرشح الجاف موديل M-100 $(30 \times 60 \times 20)$ في الجدول (7- 4) الخاص بالفلاتر الجافة يستخدم مع معدل سريان $\left(240\ {}^{L}/_{S}\right)$. ما هو أقل انخفاض ضغط متوقع؟

(ب) ما الفرق بين الجريل والناشر وبين الجريل والحاكم ؟.

مكتب خصوصي أبعاده $(8 \times 6\ m)$ يتم تكييفه باستخدام ناشر حائطي مرتفع أو أكثر مركبة على الحائط $8\ m$. ارتفاع السقف $(3.2\ m)$ ، حمل التبريد المحسوس ينتج عنه معدل تغذية هواء بمقدار $\left(230\ {}^{L}/_{S}\right)$ عند فرق درجة حرارة $9^{o}C$. المطلوب اختيار الناشر الحائطي والجريل لهذا الاستخدام.

السؤال السابع:

(أ) احسب هبوط الضغط خلال كوع لمجرى مستطيل أبعاده $(W\,(400) \times H\,(600)\ mm)$ إذا كان الكوع $\left(90^{o}\right)$ وله نصف قطر من المنتصف $R = 400\ mm$ وكان معدل سريان الهواء خلال الكوع $\left(0.5\ {}^{m^3}/_{s}\right)$.



R/W	C										
	H/W										
	0.25	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0
0.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2
0.75	0.57	0.52	0.48	0.44	0.40	0.39	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44
1.0	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.18	0.19	0.20	0.27	0.21
1.5	0.22	0.20	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17
2.0	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15

(ب) الشكل أدناه لمجرى تغذية لحيز مكتب عمومي، حدد أقطار المجرى الدائري بطريقة الاحتكاك المتساوي، وعين انخفاض الضغط لأطول مسار. كم يبلغ الضغط الاستاتيكي الكلي عند مخرج المروحة ؟ وكم تبلغ قدرتها ؟.

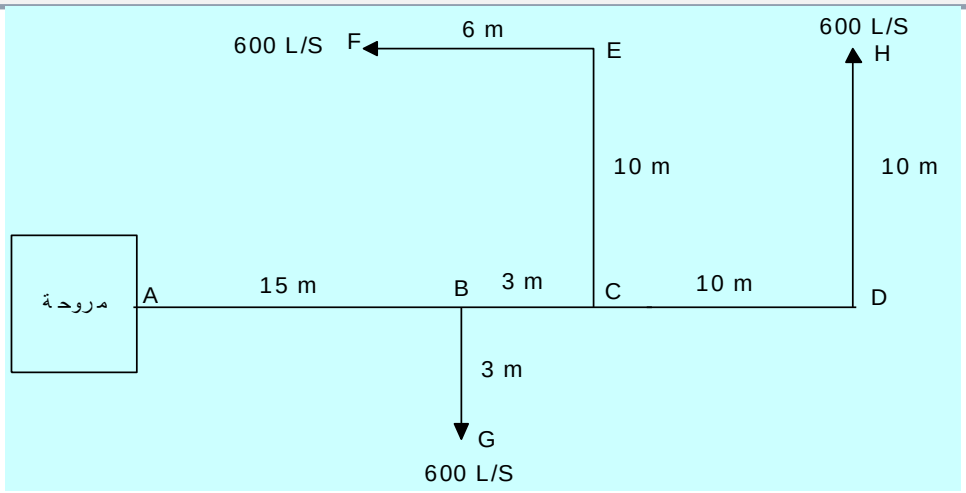
افرض أن:

هبوط الضغط الكلي للمخارج ($40\ Pa$) .

الإنتقالات B-C ، C-D عبارة عن مجمعات إلى مجرى دائري $\theta = 60^{\circ}$

الكوع مكون من ثلاث قطع $R/D = 2.0$

ومعامل الكسب هو (0.75).


600 L/S
F
6 m
E
600 L/S
H
10 m
10 m
مروحة
A
15 m
B
3 m
C
10 m
D
3 m
G
600 L/S

حلول أسئلة الاختبار الذاتي

السؤال الأول:

1. أنواع حوامل وعلاقات أنابيب الماء.

تستخدم عدة أشكال من نوع اللف (Roll-type) .

2. (أ) التمدد والانكماش في الأنابيب هي:

- حلقات وفروع تمدد (Expansion loops & offsets)
- وصلات تمدد (Expansion joints)
  - ❖ النوع الانزلاقي (Slip type)
  - ❖ النوع المنفاخي (Bellows type)
- الخرطوم المرن (Flexible hose)

(ب) الاهتزاز في الأنابيب.

- عوازل الاهتزاز (Vibration isolators)
- خراطيم أو وصلات مرنة

3. تصنع الصمامات عادة إما كلها من البرونز أو الجسم من الحديد والأجزاء الأخرى من البرونز.

في حالة الضغط العالية تستخدم الصمامات من الحديد الصلب، وأنواع الصمامات وتركيبها هي:

(أ) الصمامات البوابية

ويتم تركيبها لإيقاف السريان

(ب) الصمامات الكروية (Globe valves)، صمامات الزاوية (Angle valves)، صمامات السد (Plug valves)، صمامات الإبرة (Needle valves) صمامات الخنق ذات القرص (Butterfly valves) ، ويتم تركيبها لتنظيم معدل السريان

(ج) كصمامات عدم الرجوع.(Check valves)

ويتم تركيبها لتحديد اتجاه السريان

وتتكون الصمامات من الأجزاء التالية:

- القرص أو الإسفين: (Disc or wedge)
- الساق: (Stem)

وأنواعه هي:

- ساق صاعد مع قلاووظ خارجي
- ساق صاعد مع قلاووظ داخلي
- الساق غير الصاعد مع قلاووظ داخلي
- الساق المنزلق (سريع الفتح)

(ج) صمولة التغليف والحشو

(د) غطاء الصمام : (Bonnet)

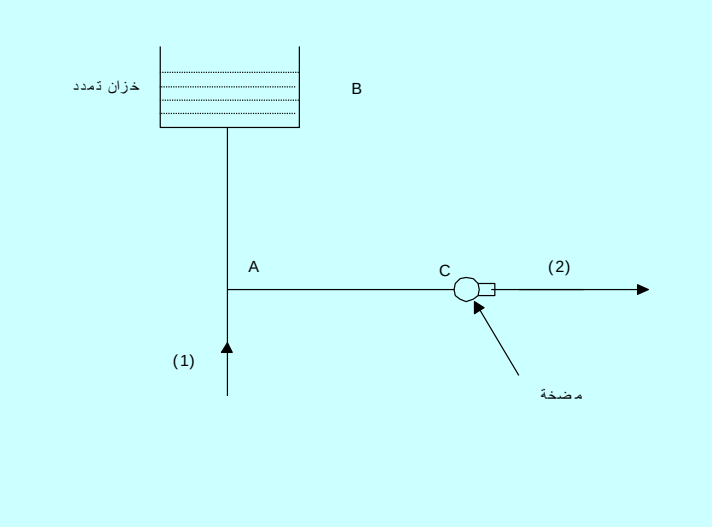
4. وظيفة خزان التمدد في نظام التكييف المركزي هي:

- المحافظة على الضغط للنظام للسماح للماء بالتمدد عند زيادة درجة حرارته.
- يعمل على تعويض الماء للنظام.

الشكل التالي يوضح مكان تركيب خزان التمدد في نظام التكييف المركزي ويجب أن يكون:

-في جانب السحب للمضخة

-عند أعلى نقطة للنظام



السؤال الثاني:

(أ) باستخدام الجدول الخاص بالتركيبة:

$$V_1 = \frac{Q}{A} = \frac{2}{0.2} = 10 \ {}^{m}\!/_{s} \quad , \quad \theta = 60^{o} \quad , \quad \frac{A_1}{A} = \frac{0.4}{0.2} = 2.0$$

$$\mathrm{R}_e = 0.55 \times 10^{5} \ DV \quad , \quad D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.2}{\pi}} = 0.5 \ m$$

$$\therefore \ \mathrm{R}_e = 0.55 \times 10^{5} \times 0.5 \times 10 = 2.75 \times 10^{5}$$

$$C = 0.27$$

$$\therefore \ \Delta p_T = 0.6 \times 0.27 \times (10)^2 = 16.2 \ Pa = (1.62 \ mm.w)$$

(ب) من جدول مستويات الصوت للمكتب الخاص نجد أن $NC = 35 \ db$

نقسم المكتب إلى أربعة أقسام أبعاد كل منها $(9 \times 5 \ m)$.

معدل السريان لكل حيز $L/S = \frac{2000}{4} = 500$

مدى الناشر (أكبر نصف قطر للانتشار من منتصف الغرفة إلى الحائط)

$$\frac{9}{2} = T \qquad 4.5 \ m =$$

من جدول (1- 3) معطيات أداء النواشر الدائرية نختار الناشر مقاس $(45 \ cm)$

ومواصفاته هي :

L/S $= 620$, $T = 6.7 \ m$, $SP = 7.5 \ Pa$, $NC = 26 \ db$

السؤال الثالث:

(أ) باستخدام طريقة الاحتكاك المتساوي لتصميم مجاري الهواء نختار سرعة الهواء التي لا تسبب ضوضاء وذلك حسب توصية (ASHRAE) من جدول السرعات:

$$V = 6.0 \ {}^{m}\!/_{s}$$

مساحة مقطع المجرى:

$$A = {}^{Q}\!/_{V} = {}^{1.4}\!/_{6} = 0.23 \ m^2$$

باستخدام خريطة هبوط الضغط للمجرى المستطيل عند كمية هواء $\left(1.4 \ {}^{m^3}\!/_{s}\right)$ نختار مقاس المجرى الرئيس عند سرعة $\left(6 \ {}^{m}\!/_{s}\right)$ ونوجد هبوط الضغط أيضاً كما يلي:

أبعاد المجرى المستطيل $(580 \times 400\ mm)$ $(W = 580\ ,\ H = 400\ mm)$

$$\Delta p = 0.8\ {}^{Pa}\!/_{m}$$

باستخدام الخريطة عند فاقد ضغط $\Delta p = 0.8\ {}^{Pa}\!/_{m}$ ومعدلات السريان لبقية الفروع نوجد أبعاد بقية المجرى والسرعات على النحو التالي:

م	المقطع	معدل السريان (m^3)	الأبعاد $(W \times H)$ **(cm)**	السرعة **(m/s)**
1.	A-B	1.4	$(580 \times 400\ mm)$	6.0
2.	B-C	1.0	$(450 \times 400\ mm)$	5.5
3.	CG	0.6	$(500 \times 250\ mm)$	4.8
4.	BF	0.4	$(360 \times 250\ mm)$	4.4
5.	CE	0.4	$(360 \times 250\ mm)$	4.4

واضح أن أطول مسار هو ABCDG

بالنسبة للكوع (D): نستخدم كوع مثني في مجرى مستطيل.

$${}^{R}\!/_{W} = 1.5 \quad , \quad A = 500 \times 250\ mm^2$$

$${}^{H}\!/_{W} = {}^{250}\!/_{500} = 0.5$$

$$C = 0.2$$

$$\therefore \Delta p_T(A-G) = 0.8 \times 24 + 0.6 \times V^2 (C-G) \times C(D) + 0.6 \times V^2 (C-G) \times C(G)$$

$$= 19.2 + 0.6 \times 0.2 \times (4.8)^2 + 0.6 \times 1.0 \times (4.8)^2$$

$$= 19.2 + 2.765 + 13.82 = 35.8\ Pa$$

السؤال الرابع:

باستخدام خريطة هبوط الضغط لأنبوب الحديد الأسود.

السرعة (m/s)	هبوط (Pa) الضغط	(mm) القطر	معدل (kg/s) السريان
0.9	215	50	2
1.5	186	125	20
1.67	118	200	60

كما أوضحنا من قبل فيجب أن يكون هبوط الضغط لجميع المسارات متقارباً.

السؤال الخامس :

1. التأثيرات الضارة للملوثات الغازية.

- السمية: (Toxicity)
- الروائح: (Odors)
- الاستجابة للتهيج و الحساسية: (Irritation & allergic response)
- تلف المواد: (Damage of materials)

2. طرق التحكم في جودة الهواء الداخلي.

- التخلص من مصادر التلوث.
- سقف موضعي مع تنقية هواء عادم أو هواء راجع.
- التخفيف مع زيادة التهوية العامة.
- تنقية الهواء بزيادة أو بدون زيادة في معدلات التهوية.

3. طرق تعقيم الهواء.

- لمبات الأشعة فوق البنفسجية لإنتاج غاز الأوزون الذي يمكنه القضاء على البكتريا.
- رش الهواء بمحلول تراي إثلين جليكول ليقضي على البكتريا في الهواء.

4. أنواع مرشحات الهواء.

(أ) المرشحات الجافة: (Dry filters)

تتكون المرشحات الجافة من مواد مثل السلولوز، الإسبستوس، الورق المسامي المعالج ، القماش، الصوف الزجاجي أو خيوط القطن وتنقسم إلى:

- مرشحات ثابتة
- مرشحات متحركة

وتصنف أيضاً حسب كفاءتها إلى:

-مرشحات ذات كفاءة عالية
- مرشحات ذات كفاءة متوسطة

المرشحات الدقيقة: (Fine filters)

عبارة عن مرشحات جافة تعمل على تنقية الهواء من الكائنات الدقيقة والبكتيريا بكفاءة تصل إلى حوالي (99.9%) ويطلق عليها مرشحات الهيبا [High Efficiency Particulate Air (HEPA) Filters].

(ب) المرشحات ذات الارتطام اللزج: (Viscous Impingement Filters)

تتكون من ألياف الصوف الزجاجي، ألياف اصطناعية، ألياف الألمنيوم أو شعر الحيوانات على هيئة تجاويف متعاقبة وراء بعضها ومشبعة بمادة لزجة (زيت أو شحم) تقوم باستخلاص الأتربة من الهواء المار

و تصنف إلى ثلاثة أنواع :

- مرشحات قابلة للغسيل: (Washable Filters)
- مرشحات قابلة للتغيير: (Changeable Filters)
- مرشحات ذاتية التنظيف: (Self -Cleaning Filters)

(ج) المرشحات الإلكترونية: (Electronic Filters)

تعرف المرشحات الإلكترونية بالمرسبات (Precipitators) وتستخدم في تعقيم الهواء وتصنف إلى نوعين:

- النوع المتأين (Ionizing type)
- النوع ذو الأوساط المشحونة (Charged media type)

اختبار المرشحات:

تستخدم الطرق التالية اختبار المرشحات:

- طريقة الوزن: (Weight method)

يتم قياس وزن الغبار الذي تم التخلص منه بواسطة المرشح ومقارنته بوزن قياسي لمادة الغبار ذات تركيز وأحجام معروفة.

- طرق إزالة اللون الموضعي للغبار: (Dust spot discoloration method)

في هذا الاختبار يتم تمرير الهواء أولا على المرشح ثم على ورق ترشيح لإزالة اللون.

- طرق اختراق أل DOP: (Di-octyl-phthalate penetration method)

يستخدم هذا الاختبار لقياس مقدرة المرشح للتخلص من الأجسام الصغيرة جدا. حيث يتم تمرير سحب من مادة (DOP) الكيمائية في خط الهواء عبر المرشح. تركيز الأجسام التي لم يتم حجزها يتم قياسه عند مخرج الهواء

السؤال السادس:

(أ)

$$\frac{\Delta p'}{\Delta p} = \left(\frac{Q'}{Q}\right)^2$$

وحيث أنه من الجدول (4- 6) للموديل M-100 $(30 \times 60 \times 20)$

$$\Delta p = 100 \ \ Pa \ \ Q = 300 \ \ {}^{L}\!/_{S} \quad ,$$

وحيث أن : $\left(240 \ \ {}^{L}\!/_{S}\right)$

$$\Delta p' = \left(\frac{Q'}{Q}\right)^2 \times \Delta p = \left(\frac{240}{300}\right)^2 \times 100$$

$$\therefore \Delta p' = 64 \ \ Pa$$

(ب) الناشر يستخدم لتزويد الغرفة بالهواء المكيف ويوضع دائماً في الأسقف أو الحوائط.

الجريل يستخدم عادة مع هواء الراجع ولذا يتم وضعه دائماً أسفل الحوائط.

الحاكم هو عبارة عن جريل به خوانق من الداخل للتحكم في كمية واتجاه الهواء عندما يستخدم في تغذية الهواء للغرف.

من جدول مستويات الصوت للمكتب الخصوصي نجد أن $NC = 35 \ \ db$,

مدى الناشر (عرض الغرفة) $= T \ \ 6 \ m$

من جدول معطيات النواشر الحائطية عند $\left(230 \ \ {}^{L}\!/_{S}\right)$ والمدى المذكور يمكن اختيار الناشر مقاس $(30 \times 15 \ \ cm)$ أو $(45 \times 10 \ \ cm)$ أو $(35 \times 12.5 \ \ cm)$ ومواصفاته هي :

$\theta = {}^{o}45$, $6.1\ m$ $L/S = 235$, $T =$

$NC = 34\ db$

من الجدول جريلات الراجع عند $(230\ L/S)$ نختار الجريل مقاس $(40 \times 30\ cm)$ أو $(35 \times 35\ cm)$ ومواصفاته هي :

$$(235\ L/S),\ NC = 21\ dB\ ,\ \Delta p_s = 13.75\ Pa\ ,\ V = 2\ m/s$$

السؤال السابع:

(أ)

$$\frac{R}{W} = \frac{400}{400} = 1.0 \quad , \quad \frac{H}{W} = \frac{600}{400} = 1.5$$

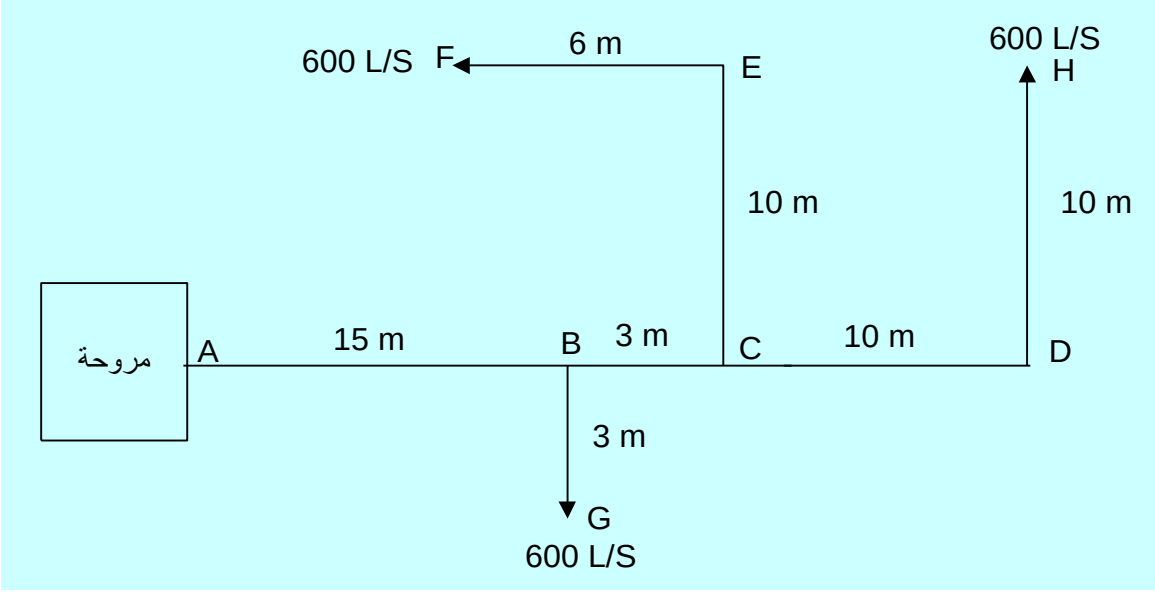
باستخدام الجدول الخاص بالكوع:

$$C = 0.19$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.5}{0.6 \times 0.4} = 2.1\ m/s$$

$$\therefore \Delta p = 0.6 \times V^2 \times C = 0.6 \times (2.1)^2 \times 0.19 = 0.5\ Pa$$

(ب)



- باستخدام طريقة الاحتكاك المتساوي لتصميم مجاري الهواء نختار سرعة الهواء التي لا تسبب ضوضاء للمكاتب العمومية وذلك حسب توصية (ASHRAE) :

$$V = 7.5\ m/s$$

قطر المجرى الرئيس عند المروحة:

$$A = {Q}/{V} = {1.8}/{7.5} = 0.24\ m^2$$

باستخدام خريطة هبوط الضغط للمجرى الدائري عند كمية هواء $\left(1.8\ {m^3}/{s}\right)$ نختار مقاس المجرى الرئيس عند سرعة $\left(7.5\ {m}/{s}\right)$ ونوجد هبوط الضغط أيضاً كما يلي:

القطر (mm 550) وهبوط الضغط هو:

$$\Delta p = 1.1\ {Pa}/{m}$$

- باستخدام الخريطة عند فاقد ضغط $\Delta p = 1.1\ {Pa}/{m}$ ومعدلات السريان لبقية الفروع نوجد أبعاد بقية المجرى والسرعات على النحو التالي:

م	مقطع المجرى	معدل السريان $\left(m^3\right)$	المساحة $\left(m^2\right)$	قطر المجرى (mm)	السرعة $\left({m}/{s}\right)$
9.	A-B	1.8	0.24	550	7.5
10	B-C	1.2	0.176	475	6.8
11	C-D-H	0.6	0.11	365	5.7
12	C-E-F	0.6	0.11	365	5.7
13	B-G	0.6	0.11	365	5.7

- لحساب هبوط الضغط الكلي في المجرى المستقيم A-H

أولاً : نوجد معامل الفقد للكوع D :

${R}/{D} = 2.0$ ، قطع -3

$(C = 0.33)$

نوجد معامل الفقد للانتقال B-C والإنتقال C-D :

باستخدام الجدول نجد أن هبوط الضغط في الجزء المستقيم للمجرى نتيجة للنهوض ناتج عن المجمع حيث إن :

$${A_1}/{A_0} = \left({0.24}/{0.176}\right) = 1.4 \quad , \quad {A_1}/{A_0} = \left({0.176}/{0.1}\right) = 1.6 \quad \theta = 60^\circ$$

للمجمعين على التوالي :

$(C = 0.06)$

هبوط الضغط الكلي للمجرى = هبوط الضغط في المجرى المستقيم + هبوط الضغط في التركيبات

$$\therefore \Delta p_T (A-H) =$$

$$1.1\times 38 + 0.6\times V^2(A-B)\times C(B-C) + 0.6\times V^2(B-C)\times C(C-D) + 0.6\times V^2(C-H)\times C(D)$$

$$= 41.8 + 0.6\times 0.06\times(7.5)^2 + 0.6\times 0.06\times(6.8)^2 + 0.6\times 0.33(5.7)^2$$

$$= 41.8 + 2.025 + 1.665 + 6.433 = 51.9\ Pa$$

- الضغط الاستاتيكي الكلي المطلوب عند مخرج المروحة = الضغط للمخارج + الفقد في المجرى

$$\therefore p_s(Fan) = 51.9 + 40 = 91.9\ Pa$$

الكسب الاستاتيكي نتيجة لنقصان السرعة يمكن حسابه بالمعادلة:

$$0.75\times 0.5\rho\left[V^2(Initial) - V^2(Final)\right]$$

حيث إن :

السرعة عند أول مقطع للمجرى = $V(Initial)$

السرعة عند آخر مقطع للمجرى = $V(Final)$

كثافة الهواء = ρ

وعليه يصبح الضغط الاستاتيكي الكلي عند مخرج المروحة:

= الضغط للمخارج + الفقد في المجرى – الكسب نتيجة للنقصان في السرعة

$$\therefore p_s(Fan) = 91.9 - 0.75\times 0.6\left[(7.5)^2 - (5.7)^2\right]$$

$$= 91.9 - 10.69 = 81.2\ Pa\ (8.12\ mm.w)$$

- القدرة الخارجة من المروحة:

$$P_o = p_{To}\times \dot{Q} = (81.12 + 0.6V^2)\times 1.8$$

$$= [81.12 + 0.6(7.5)^2]\times 1.8 = (81.12 + 33.75)\times 1.8$$

$$= 206.77\ watts \approx 0.2\ kW$$

□

Glossary المصطلحات

A	المصطلح
ASHRAE	الجمعية الأمريكية لمهندسي التدفئة والتبريد وتكييف الهواء
Aspect ratio	النسبة الباعية
Aluminum foil	رقائق الألمنيوم
ASTM	الجمعية الأمريكية لاختبار المواد
Air vents	فتحات تنفيس الهواء
Air jets	تيارات هوائية
Air leakage	تسرب الهواء
Air changes per hour	عدد مرات تغيير الهواء في الساعة (ACH)
Air contamination	تلوث الهواء
Air cleaning	تنقية الهواء
Air filters	مرشحات الهواء
Air sterilization	تعقيم الهواء
Activated carbon	الكربون النشط
Activated alumina	الألو مينا النشطة
Angle valve	صمام زاوية
Anchors	مثبتات
AEPA	الوكالة الأمريكية لحماية البيئة
Air diffusion	نشر الهواء
Air diffusion patterns	أنماط نشر الهواء
Air distribution systems	أنظمة توزيع الهواء
Air outlets	مخارج الهواء
Ambient air quality	جودة الهواء الخارجي
Adjusting	الضبط
B	

Basement	قبو
Balancing damper	خانق موازنة
Bellow	منفاخ
Bushing	جلبة بسنة داخلية وخارجية
Butterfly valve	صمام ذو قرص خانق
Buoyancy effects	تأثيرات الطفو
Bonnet	غطاء الصمام
Boiler	مرجل
Branch	فرع
Balanced-capacity method	طريقة توازن السعة
Balanced-pressure loss method	طريقة توازن فقدان الضغط
Balancing	موازنة
C	
Ceiling diffuser	ناشر سقفي
Converging transition	انتقال مجمع
Copper	نحاس
Coupling	جلبة
Check valve	صمام عدم رجوع
Composition disc	قرص مركب
Compression tank	خزان ضغط
Constant volume system	نظام ثابت الحجم
Cleaning agents	منظفات
Charged media filters	مرشحات ذات أوساط مشحونة
Changeable filters	مرشحات قابلة للتغيير
Central air conditioning	تكييف مركزي
Chiller (Water chiller)	مثلج مياه
Closed loop system	نظام مغلق

Critical path	أطول مسار
Cooling tower	برج تبريد
D	
Design velocity	سرعة التصميم
Duct design	تصميم مجاري الهواء
Diverging transition	انتقال منفرج
Duct insulation	عزل مجاري الهواء
Duct manufacturing	تصنيع مجاري الهواء
Disc	قرص
Dry filter	مرشح جاف
Discoloration	إزالة اللون
Displacement ventilation	تهوية ازاحية
Dust spot	موضع الغبار
DOP	مادة فثلات الداي أوكتايل
Drop	انخفاض
Dosimeter	جهاز قياس شدة الصوت
dB	وحدة قياس مستوى ضغط الصوت (الديسبل)
E	
Equal friction method	طريقة الاحتكاك المتساوي
Equivalent length	الطول المكافئ
Expansion joints	وصلات تمدد
Expansion loops	حلقات تمدد
Expansion tank	خزان تمدد
Equipments	معدات
Electronic filters	مرشحات إلكترونية
Environmental protection agency (EPA)	وكالة حماية البيئة
Exfiltration	تسرب إلى الخارج

F	
Fittings	تركيبات
Fiberglass	ليف زجاجي
Flexible hose	خرطوم مرن
Flange	شفة
Face area	مساحة الواجهة
Fine filters	مرشحات دقيقة
Filter efficiency	كفاءة المرشح
Flexible wedge disc	قرص إسفيني مرن
Filters performance criteria	معيار أداء المرشحات
Face velocity	سرعة الواجهة
Fire damper	خانق حريق
Flow meter	جهاز قياس معدل السريان
G	
Globe valve	صمام كروي
Gate valve	صمام بوابي
Gaseous contaminants	ملوثات غازية
Grille	جريل
Galvanized sheet metal	ألواح حديد مجلفن
Gas tracer	جهاز قياس نسبة تركيز الغازات
H	
HVAC	تسخين، تهوية، تكييف هواء
Hangers	علاقات
Hand wheel	عجلة يدوية
HEPA filters	مرشحات الألياف الدقيقة عالية الكفاءة
I	
IHVE	معهد مهندسي التسخين والتهوية البريطاني

Irritation & allergic response	الاستجابة للتهيج والحساسية
Indoor air quality (I.A.Q)	جودة الهواء الداخلي
Indoor air quality procedure	إجراءات جودة الهواء الداخلي
Ionizing type filter	مرشح من النوع المتأين
Installation	تركيب
Index	فهرس
Indoor air quality	جودة الهواء الداخلي
L	
Location	موقع
Localized ventilation	تهوية موضعية
Loss coefficient	معامل الفقد
M	
Mitered elbow	كوع مشطوب
Medium grade black steel	حديد أسود متوسط المرتبة
N	
Nominal size	المقاس الاسمي
Nipple	نبل
Needle valve	صمام إبرة
Non-rising stem	ساق غير صاعد
Narrow seat	قاعدة ضيقة
NIOSH	المعهد القومي للسلامة والصحة المهنية
NC	معيار الضوضاء
O	
Offset	فرع تمدد
Odor	رائحة
Odor threshold	عتبة الرائحة
Occupants	أشخاص

Open loop system	نظام مفتوح
P	
Plenum ceiling	سقف تخزين
Pressure drop	هبوط الضغط
Pressure loss	فقد الضغط
Pleated elbow	كوع مثني
Polyurethane	البولي يوريثان
Plug valve	صمام سد
Packing nut	صمولة تغليف
Plug cock	صمام سدادة
Precipitators	ترسبات
ppm	جزء لكل مليون
Preface	توطئة
Perimeter	محيطي
Pump	مضخة
PH	رقم الأس الهيدروجيني للماء
PH-meter	جهاز قياس رقم الأس الهيدروجيني
Q	
Quiet system	نظام هادئ
R	
Radon	غاز الرادون
Residual velocity	السرعة المتخلفة
Register	حاكم
Round diffuser	ناشر دائري
Room air motion	حركة الهواء الداخلي
Return air	هواء راجع
Reverse return system	نظام مع راجع عكسي
Roll-type	نوع اللف

Regulating valve	صمام تنظيم السريان
Rising stem	ساق صاعد
Resistance	مقاومة
Reduction	انخفاض
S	
Spread	انتشار
Slot diffuser	ناشر مشقوب
Supply devices	أجهزة تغذية الهواء
Square diffuser	ناشر مربع
Schedule number	رقم الأنبوب
Steel	حديد
Slip type	النوع الانزلاقي
Spring hanger	علاقة ياي
Stem	ساق
Screw	قلاووظ
Stuffing	حشوه
Split wedge disc	قرص إسفيني منفصل
Sick building syndrome	مبنى متلازم المرض
Self cleaning filter	مرشح ذاتي التنظيف
Scattered lights	ضوء مستطير
Staggered	متعرج
Snap lock	قفل إطباقي
Spiral	حلزوني
System balance	موازنة النظام
Spitter damper	خوانق توجيه
Static regain method	طريقة الاستعاضة الإستاتيكية
Space air diffusion	نشر الهواء في الحيز

Source elimination	التخلص من المصدر
Stethoscope	جهاز تحديد وتشخيص مصدر الصوت
SPL	مستوى ضغط الصوت
T	
Terminal unit	وحدة طرفية
Transmission loads	أحمال متسربة
Terminal velocity	السرعة الطرفية
Take-off	نهوض
Task air conditioning system	نظام تكييف هواء للمجهود
Tee	تي
Toxicity	السمية
Throw	مدى الانتشار
TAB	الاختبار، الضبط والموازنة
Tachometer	تاكوميتر جهاز قياس عدد اللفات
Testing	اختبار
U	
Use of outdoor air	استخدام الهواء الخارجي
V	
VAV system	نظام متغير الحجم
Variable control damper (V.C.D)	خانق لتغيير كمية الهواء
Vibration	اهتزاز
Vibrometer	جهاز قياس الاهتزاز
Vibration isolators	عوازل الاهتزاز
Vapor barrier	مانع البخار
Valve	صمام
Ventilation	تهوية
Ventilation rate procedure	إجراءات معدل التهوية

Viscous	لزج
Viscous impingement filter	مرشح ارتطام لزج
W	
Wrought iron	حديد مطاوع
Wedge	إسفين
Washable filter	مرشح قابل للغسيل
Water distribution system	نظام توزيع الماء
Water treatment	معالجة مياه
Z	
Zone	منطقة

Nomenclature الرمــوز

Key word	الوحدة (Unit)	الرمز (code)	المصطلح
Water mass flow rate	kg / s	$\dot{m}_w$	معدل سريان الماء
mass	kg	m	الكتلة
Air mass flow rate	kg / s	$\dot{m}_a$	معدل سريان الهواء
Air density	kg / m^3	ρ_a	كثافة الهواء
Static pressure	Pa	p_s	الضغط الاستاتيكي
Dynamic pressure	Pa	p_d	الضغط الديناميكي
Velocity pressure	Pa	p_v	ضغط السرعة
Total pressure	Pa	p_T	الضغط الكلي
Total Pressure difference	Pa	Δp_T	فرق الضغط الكلي
Fan static pressure	Pa	FSP	الضغط الاستاتيكي للمروحة
Fan total pressure	Pa	FTP	الضغط الكلي للمروحة
Air pressure	Pa	p_a	ضغط الهواء
Specific heat of water	kJ/kgK	c_{pw}	الحرارة النوعية للماء
Coefficient of performance	-	COP	معامل الأداء
Energy efficiency ratio	-	EER	نسبة كفاءة الطاقة
Air volume	m^3	V_a	حجم الهواء
Dry bulb temperature	$°C$	T_{db}	درجة الحرارة الجافة
Wet bulb temperature	$°C$	T_{wb}	درجة الحرارة الرطبة
Relative humidity	%	RH	الرطوبة النسبية
Ton of Refrigeration	TR	TR	طن التبريد
Internal temperature	$°C$	T_i	درجة الحرارة الداخلية
Outside temperature	$°C$	T_o	درجة الحرارة الخارجية
Supply air temperature	$°C$	T_S	درجة حرارة هواء التغذية
Temperature difference	$°C$	ΔT	فرق درجات الحرارة
Velocity	m/s	V	السرعة
Area	m^2	A	المساحة

Radius	mm	R	نصف القطر
Diameter	mm	D	القطر
Width	mm	W	العرض
Height	mm	H	العمق أو الارتفاع
Loss coefficient	-	C	معامل الفقد
Equivalent length	m	$E.L$	الطول المكافئ
Volume flow rate	$m^3 s^{-1}$	Q	معدل السريان الحجمي
efficiency	-	η	الكفاءة
Steady state efficiency	-	η_{ss}	كفاءة الاستقرار
Thermal efficiency	-	η_{th}	الكفاءة الحرارية
Mechanical efficiency	-	η_{m}	الكفاءة الميكانيكية
Air change per hour	hr^{-1}	ACH	معدل تغيير الهواء في الساعة
Cooling load	W	CL	حمل التبريد
Power	$WATTS$	P	القدرة
Water horsepower	hp	WHP	القدرة المائية
Brake horsepower	hp	BHP	القدرة الفرملية
Manometric head	$mm.w$	-	الارتفاع المانوميتري
Current	A	I	التيار
Voltage	V	V	الجهد
Heating value	$kcal/m^3$	H.V	السعة الحرارية
Rate of fuel consumption	m^3/h	$\dot{Q}_f$	معدل استهلاك الوقود
concentration CO_2	ppm	-	نسبة تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون
Sound pressure level	dB	SPL	مستوى ضغط الصوت
Noise criteria	dB	NC	معيار الضوضاء
Throw	m	T	مدى الانتشار

المراجع
REFERENCES

المؤلف	اسم المرجع
McGraw-Hill	Handbook of Air Conditioning System Design, Carrier Air Conditioning Company. (1965)
Edward G. Pita	Air Conditioning Principles And Systems: An Energy Approach, 3rd Edition, John Willey & Sons, Inc. (1981)
د. رمضان أحمد محمود	تكييف الهواء- مبادئ وتطبيقات، كلية الهندسة- جامعة الإسكندرية ، منشأة المعارف بالإسكندرية. (1987)
د. رمضان أحمد محمود	تكييف الهواء- مسائل محلولة، كلية الهندسة- جامعة الإسكندرية، منشأة المعارف بالإسكندرية. (1987)
Albert JUDET & Bernard SESOLIS	Principes de l'aéraulique appliqués au bâtiment, 1st édition. (1991)
Faye & Parker	Heating, Ventilating And Air Conditioning: Analysis & Design, 4th Edition, John Willey & Sons, Inc. (1994)
Althouse. Turnquist. Bracciano	Modern Refrigeration And Air Conditioning, The Goodheart-Willcox Company, Inc. (1996)
W. P Jones	Air Conditioning Applications And Design, 2nd Edition, John Willey & Sons, Inc. New York-Toronto. (1997)
Edward G. Pita	Air Conditioning Principles And Systems, 3rd Edition, Prentice Hall, New Jersey, Columbus, Ohio. (1998)
Trane Company	Installation, Operation, Maintenance Manual, Trane Company. (1999)
ASHRAE	HVAC Applications, ASHRAE Handbook. (1999)
Trane Company	Chiller Performance Data Manual, Trane Company. (1999)
Shan. K. Wang & Zalman Lavan	Handbook of Air Conditioning And Refrigeration, Mechanical Engineering Handbook, Ed. Frank Kreith. (1999)
Whitman. Johnson & Tomczyk	Refrigeration And Air Conditioning Technology, 4th Edition, Delmar. (2000)
Shan. K. Wang	Handbook of Air Conditioning And Refrigeration, 2nd edition. McGraw-Hill. (2001)
م. صبري بولس	تكييف الهواء المركزي واستخدام الطاقة الشمسية في عمليات تكييف الهواء ، الطبعة الثانية ، دار المعارف – القاهرة.
	البحث في الانترنيت عن الصور الداعمة بواسطة محرك البحث (Google), (2012).