التدفئة والتهوية الصناعية


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

منشورات جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

التدفئة والتهوية الصناعية

الدكتور

محمد سعيد الجراح

أستاذ في قسم هندسة الميكانيك العام

الدكتور

غسان مدلل مدلل

مدرس في قسم هندسة الميكانيك العام

١٤٣١-١٤٣٢ هـ

٢٠١٠-٢٠١١ م

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفهرس

قســـــــم التدفئة

مقدمة 17

الفصل الأول: أسس التدفئة والتكييف والتهوية الصناعية 19

١-١ مفاهيم 19

١-١-١ التكييف 19

١-١-٢ أقسام التكييف 19

١-٢ التهوية 20

١-٣ التدفئة 20

١-٤ التدفئة المركزية 21

١-٤-١ التدفئة بالماء الساخن 21

١-٤-٢ التدفئة بالبخار 21

١-٤-٣ التدفئة بالهواء الساخن 21

١-٥ أجزاء دارة التدفئة 21

الفصل الثاني: انتقال الحرارة في التدفئة و التكييف 23

٢-١ أهمية انتقال الحرارة 23

٢-٢ الانتقال الحراري 23

٢-٢-١ التبادل الحراري بالإشعاع 24

٢-٢-٢ قانون ستيفان بولتسمان 24

٢-٢-٣ تبادل الحرارة بالإشعاع بين سطحين 26

٢-٣ انتقال الحرارة بالحمل 26

٢-٣-١ معادلة التبادل الحراري بالحمل 28

٢-٤ انتقال الحرارة بالتوصيل 28

٢-٤-١ انتقال الحرارة عبر جدار مستو 28

٢-٤-٢ انتقال الحرارة عبر جدار متعدد الطبقات 30

٢-٤-٣ انتقال الحرارة من وسط إلى آخر عبر جدار 34

٢-٤-٣-١ معامل انتقال الحرارة الكلي 37

٢-٤-٤ حالة جدار مؤلف من عدة طبقات بينهما فراغ هوائي 38

٢-٤-٥ البث الحراري من الأنابيب 43

٢-٤-٦ إيجاد سماكة العازل للأنابيب 46

٢-٤-٧ تأثير موضع العازل الحراري على الاختزان الحراري 49

٢-٤-٧-١ عزل خارجي 49

٢-٤-٧-٢ عزل داخلي 49

٢-٤-٧-٣ المتطلبات التصميمية وفق الكود السوري 51

٢-٤-٨ العزل الحراري و الدراسة الاقتصادية لسماكة العازل 52

الفصل الثالث: الفقد الحراري من الأبنية 55

٣-١ الحرارة المفقودة من البناء 55

٣-٢ معامل انتقال الحرارة بالحمل و الإشعاع للسطوح الداخلية والخارجية 56

٣-٣ معامل انتقال الحرارة بالتوصيل 57

٣-٤ تسرب الهواء 59

٣-٤ -١ الحمل الحراري الناتج عن تسرب الهواء 60

٣-٥ درجة حرارة الأماكن غير المدفأة و المجاورة لأماكن مدفأة 60

٣-٦ خطوات حساب الحمل الحراري 62

٣-٧ اختيار درجة الحرارة الداخلية 64

٣-٨ اختيار درجة الحرارة الخارجية 65

الفصل الرابع: المبادلات الحرارية المستخدمة في الأماكن المدفأة 69

٤-١ المشعات 69

٤-٢ توضع المشعات 71
٤-٣ مبادلات تيارات الحمل 71
٤-٤ وحدات تدفئة 72
٤-٥ منظومة التدفئة الصناعية بالهواء الساخن 73
٤-٦ صفائح مشعة 73
٤-٧ السطوح المشعة (الأرض - الجدران -- السقف) 73
٤-٨ البث الحراري من المشعات 75
الفصل الخامس: أنظمة الماء الساخن بضغط منخفض 83
٥-١ أمثلة على بعض دارات التدفئة بالماء الساخن 83
٥-٢ أنواع دارات التدفئة 84
٥-٢-١ شبكة مفردة 84
٥-٢-٢ شبكة مزدوجة 85
٥-٣ حساب أقطار الأنابيب في شبكات التدفئة بالماء الساخن 87
٥-٣-١ الحسابات الأولية 87
٥-٤ معدل تدفق الماء في شبكة التدفئة 88
٥-٥ الحسابات النهائية 100
٥-٦ الضغط التحريكي في الدارة التثاقلية 103
٥-٧ سرعة جريان الماء ضمن الشبكة 104
٥-٨ حساب انخفاض الضغط في الدارة 105
٥-٨-١ الحالة الأولى (الطريقة التثاقلية) 106
٥-٨-٢ تعريف الدارة الأبعد 107
٥-٨-٣ الحالة الثانية (باستعمال مضخة تسريع في الدارة) 109
٥-٩ مقاومة وصلات الأنابيب والطول المكافئ 110
٥-١٠ حساب انخفاض الضغط الفعلي في الدارة 117
الفصل السادس: التجهيزات الأساسية للتدفئة المركزية بالماء الساخن 125
٦-١ المراجل Boiler 125

٦-١-١ مراجل الحديد الصلب 126
٦-١-٢ مراجل الفولاذ 128
٦-٢ متممات المراجل 128
٦-٣ الحراقات 129
٦-٤ حساب كمية الوقود المستهلك 130
٦-٥ الضياع الحراري للبناء 130
٦-٦ القيمة الحرارية للوقود 131
٦-٧ مردود المرجل 131
٦-٨ عدد الأيام التي تحتاج إلى تدفئة 131
٦-٩ عامل استعمال التدفئة 132
٦-١٠ عامل الطقس و اختلاف درجة الحرارة الخارجية 132
٦-١١ خزانات المازوت 133
٦-١٢ المدخنة 135
٦-١٣ أقنية إخلاء الهواء الفاسد و أقنية جلب الهواء الجديد 136
٦-١٤ خزان التمدد و التغذية 136
٦-١٤-١ خزان التمدد المفتوح 137
٦-١٤-٢ حجم خزان التمدد 138
٦-١٤-٣ خزان التمدد المغلق 139
٦-١٤-٤ حجم خزان التمدد في دارة التدفئة بالماء الساخن للتدفئة 139
٦-١٥ مضخات التدفئة (مضخات التسريع) 143
٦-١٥-١ قوانين التشابه 145
٦-١٥-٢ المخططات المميزة للمضخات 148
٦-١٥-٣ خصائص شبكة التدفئة ومقاومة الأنابيب 146
٦-١٥-٤ نقطة التشغيل 147
٦-١٥-٥ وصل المضخات 148
٦-١٦ وضع المضخة في الشبكة و علاقتها بخزان التمدد 149

الفصل السابع: التدفئة باستعمال مجموعة الضغط العالي	155
٧-١ مميزات التدفئة باستعمال مجموعة الضغط العالي	155
٧-٢ طرق توصيل خزان التمدد المغلق مع الدارة	156
٧-٢-١ مجموعة الضغط العالي	156
٧-٣ دراسة تغير الضغط في نقاط الدارة	160
٧-٣-١ وضع المضخة على الخط الذاهب	160
٧-٣-٢ وضع المضخة على الخط الراجع	164
٧-٤ دراسة كمية الماء المتحول عن المرجل	166
الفصل الثامن: التدفئة باستعمال البخار	169
٨-١ مقدمة	169
٨-٢ المصيدة التي تعمل حرارياً وبالتعويم	171
٨-٣ أنظمة التدفئة ببخار الماء ذي الضغط المنخفض	173
٨-٤ أنظمة التدفئة ببخار الماء ذي الضغط المرتفع	173
٨-٥ دارات البخار	173
٨-٥-١ دارة بأنبوب واحد	174
٨-٥-٢ دارة بأنبوبين	174
٨-٦ مجموعة البخار العادم	176
٨-٧ استعادة و استعمال البخار الفلاش	176
٨-٨ دراسة شبكة الأنابيب المستعملة للبخار	177
٨-٩ حساب أقطار أنابيب التدفئة بالبخار	178
الفصل التاسع: الطاقة الشمسية	183
٩-١ الطاقة الشمسية في التدفئة و الاستعمال المنزلي	183
٩-٢ المجمعات الشمسية	183
٩-٣ عناصر نظام التسخين الشمسي	185
٩-٤ أنواع المجمعات الشمسية	188

٩-٥ دراسة نظرية للمجمعات المائلة 194

٩-٦ حساب مردود المجمع 197

٩-٦-١ ملاحظات حول تحسين مردود المجمع 199

٩-٧ الأمور الواجب تجنبها أثناء تصنيع المجمعات 200

٩-٨ توجيه المجمعات الشمسية 201

٩-٩ خزان ادخار الحرارة 204

٩-١٠ استخدام الطاقة الشمسية في التدفئة 206

٩-١٠-١ دراسة الحمل الحراري 206

٩-١١ الأنظمة الشمسية لتسخين المياه ذات الجريان الحر 207

٩-١١-١ الأنظمة الشمسية المباشرة لتسخين المياه ذات الجريان الحر 208

٩-١١-٢ الأنظمة الشمسية غير المباشرة لتسخين المياه ذات الجريان القسري 208

٩-١٢ استعمال المساحة الاقتصادية من المجمعات الشمسية 209

٩-١٣ دارة تدفئة تستخدم الطاقة الشمسية في التدفئة الأرضية 212

٩-١٤ الدراسة الاقتصادية لسعر الكيلو وات الساعي الحراري المتولد من الطاقة الشمسية 214

٩-١٥ السخان الشمس لماء الاستعمال 216

قسم التكييف

الفصل العاشر: مخطط الهواء الرطب 219

١٠-١ المخطط السايكرومتري 220

١٠-٢ مكونات الهواء الرطب 220

١٠-٣ ضغط الهواء 221

١٠-٤ خصائص الهواء الرطب 222

١٠-٥ الرطوبة النوعية (أو الرطوبة المطلقة) 222

١٠-٦ درجة حرارة الهواء 224

١٠-٧ الرطوبة النسبية للهواء الرطب 226

١٠-٨ خط الإشباع 227

نسبة الرطوبة (الرطوبة النوعية) للهواء 228

الحجم النوعي للهواء الرطب	228
انتالبي الهواء الرطب	229
راحة الإنسان و منطقة الراحة	231
الفصل الحادي عشر: العمليات السايكومترية على الهواء الرطب	235
١١-١ العمليات السايكومتري	235
١١-٢ التبريد والتسخين المحسوس	235
١١-٣ التبريد مع إزالة رطوبة	239
١١- ٤ درجة الندى للجهاز	240
١١- ٥ ترطيب الهواء	242
١١- ٦ مزج تيارين من الهواء الرطب	246
١١-٧ أساليب تكييف الهواء	249
١١-٨ تكييف الهواء في المناطق الرطبة صيفا	251
١١- ٩ تكييف الهواء في المناطق الجافة صيفا	254
١١-١٠ تكييف الهواء شتاءً	256
١١-١١ حالة مزج الهواء الخارجي مع المعاد (شتاءً)	258
١١-١٢ حالة جميع الهواء خارجي (شتاء)	259
الفصل الثاني العاشر: وحدات معالجة الهواء	263
١٢-١ وحدات معالجة الهواء	263
١٢-٢ طريقة عمل وحدات معالجة الهواء	267
١٢-٢-١ نظام التكييف الصيفي	267
١٢-٢-٢ مكونات نظام التكييف الصيفي	267
١٢-٢-٣ التكييف في فصل الشتاء	268
١٢-٢-٤ مكونات نظام التكييف الشتوي	268
الفصل الثالث عشر: أنظمة تكييف الهواء	269
١٣- ١ الطرق و الأساليب المستعملة في تكييف الهواء	269

١٣ـ ٢ تصنيف أنظمة التكييف المركزية 269

١٣ـ٢ـ١ الأسلوب الهوائي الكلي 270

١٣ـ٢ـ٢ الأسلوب هواء – ماء 270

١٣ـ٢ـ٣ الأسلوب المائي 271

١٣ـ٢ـ٤ أسلوب الوحدات المنفصلة 272

١٣ـ٢ـ٥ نظام التمدد المباشر 272

الفصل الرابع عشر : كمية الهواء اللازمة للتهوية 272

١٤ـ١ـ حساب كمية الهواء اللازم للتهوية من معرفة عدد مرات تبديل الهواء 272

١٤ـ٢ـ حساب كمية الهواء اللازم بحسب عدد الأشخاص 276

١٤ـ٣ـ حساب كمية الهواء اللازم نتيجة للمواد الضارة المنبعثة ضمن المكان 277

الفصل الخامس عشر: التجهيزات الأساسية لأنظمة التكييف و التهوية 281

١٥ـ١ توزيع الهواء 281

١٥ـ٢ أنماط توزيع الهواء 282

١٥ـ٣ معير الهواء (الخانق) 284

١٥ـ٤ فتحات تغذية الهواء 285

١٥ـ٥ شفرات التوجيه 285

١٥ـ٦ أنواع الفتحات 287

١٥ـ٧ فتحات الرجوع 288

١٥ـ ٨ المراوح 291

١٥ـ٨ـ١ الأجهزة الرئيسية التي تتألف منها المروحة 290

١٥ـ٨ـ٢ تصنيف المراوح 290

١٥ـ٨ـ٣ تصنيف المراوح طبقا لشكل شفرات المروحة 291

١٥ـ٨ـ٤ تصنيف المراوح طبقا لفرق الضغط على طرفيها 291

١٥ـ٨ـ ٥ تصنيف المراوح طبقا لعدد المراحل التي تشملها 292

١٥ـ ٩ المواصفات التي تميز عمل المراوح 292

١٥ـ١٠ قوانين التشابه في المراوح 293

١٥-١١ المنحنيات المميزة للمراوح 294

١٥-١٢ المنحني المميز للمجاري 296

١٥-١٣ وصل المراوح على التسلسل و على التفرع (التوازي) 297

١٥-١٤ التحكم بخواص المراوح 298

١٥-١٤-١ تغيير عدد دورات المروحة 298

١٥-١٤-٢ إضافة مقاومة في الدارة 298

١٥-١٤-٣ بواسطة تدوير الشفرات الموجهة 299

١٥-١٥ غسالات ومرطبات الهواء 300

١٥-١٦ المرطبة ذات البخاخات 302

الفصل السادس عشر: تصميم المجاري الهوائية 309

١٦-١ مجاري الهواء 309

١٦-٢ حساب أبعاد مجاري الهواء 310

١٦-٢-١ طرق حساب مجاري الهواء 311

١٦-٣ اعتبارات عامة في تصميم المجاري 313

١٦-٤ العوامل المؤثرة على تخطيط المجاري 314

١٦-٥ تصنيف أنظمة المجاري الهوائية 315

١٦-٦ طرق تخطيط المجاري الهوائية 315

١٦-٧ مكونات أنظمة نقل الهواء 316

١٦-٨ تصميم المجاري الهوائية 316

١٦-٩ أنظمة الهواء الراجع 320

الفصل السابع عشر: حساب الحمل التبريدي 327

١٧-١ مصادر الربح الحراري 328

١٧-١-١ أحمال التبريد المحسوسة 328

١٧-١-٢ أحمال التبريد الكامنة 328

١٧- ٢ الحمل التبريدي 329

١٧-٣ حمل التبريد الناتج عن المصادر الخارجية 329

١٧-٣-١ حمل التبريد الناتج عن الجدران والأسقف 329

١٧-٣-٢ الحمل التبريدي للزجاج 330

١٧-٤ الحمل التبريدي من المصادر الداخلية 332

١٧-٤-١ الحمل التبريدي الناتج عن الحواجز الداخلية 332

١٧-٤-٢ الحمل التبريدي الناتج عن الإضاءة 332

١٧-٤-٣ الحمل التبريدي الناتج عن الأشخاص 332

١٧-٥ الحمل التبريدي الناتج من التهوية الطبيعية 333

١٧-٥-١ الحمل المحسوس 333

١٧-٥-٢ الحمل الكامن 333

١٧-٦ تحديد متى يكون حمل التبريد أعظميا 334

الفصل الثامن عشر: تكييف الهواء الصناعي 335

١٨-١ استخدام الغسالات الهوائية في التكييف الصناعي 335

١٨-١-١ الشروط التصميمية الداخلية 335

١٨-٢ الأنظمة المستخدمة 335

١٨-٣ إزالة الرطوبة بالمواد الكيميائية 339

الفصل التاسع عشر: تنقية الهواء 347

١٩-١ تلوث الهواء 347

١٩-٢ طرق تنقية الهواء 349

١٩-٣ أنواع المرشحات 350

١٩-٣-١ المرشحات الجافة 350

١٩-٣-٢ المرشح (الفلتر) الدقيق 351

١٩-٣-٣ المرشحات اللزجة 352

١٩-٣-٤ مرشحات إلكترونية 353

١٩-٤ تنقية الهواء بواسطة الغسالات الهوائية 354

١٩ـ٥ تصنيف غسالات تنقية الهواء 354

١٩ـ٦ معيار أداء المرشحات 354

١٩ـ٧ اختيار المرشحات 356

١٩ـ٧ـ١ أسس اختيار المرشحات هي 356

١٩ـ٨ تعقيم الهواء 358

١٩ـ٩ امتصاص الروائح 358

الفصل العشرون: التحكم في أنظمة التدفئة والتكييف و التهوية 361

٢٠ـ١ التحكم الرقمي المباشر 361

٢٠ـ٢ مصطلحات في التحكم 363

٢٠ـ٣ الأهداف الأساسية لأنظمة التحكم 365

٢٠ـ٤ أنواع التحكم 365

٢٠ـ٥ نماذج لأنظمة تحكم في التدفئة و التكييف 371

٢٠ـ٥ـ١ حالة التحكم في التدفئة بالهواء الساخن مع الترطيب صيفا ، شتاء 371

٢٠ـ٥ـ٢ التحكم بالمرطبة عند استعمال التبريد بالترطيب 372

٢٠ـ٦ الصمام الثلاثي الآلي 374

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

مقدمة

تكييف الهواء هو عبارة عن علم هندسي تطبيقي يبحث في طرق الحصول على وسط صناعي يحقق حالة الراحة للإنسان، أو وسط ملائم للعمليات الإنتاجية في الصناعة، وذلك مهما كانت حالة الهواء الخارجي. مع التقدم العلمي والتقني في شتى ميادين الحياة، نمّى قطاع خدمات المباني بكل أشكاله السكني والصناعي، حيث تتطلب هذه الأبنية منظومات تدفئة وتكييف وتهوية بغية تحقيق الراحة للقاطنين، أو تحقيق ظروف جيدة للإنتاج في مجالات الصناعة، وقد تطورت هذه الأنظمة بصورة سريعة مستفيدة من التقدم العلمي والتكنولوجي في مختلف الميادين، حيث أدخلت مبادئ وأنظمة تحكم دقيقة بهدف تأمين شروط بيئية مريحة للإنسان وللعمليات الصناعية . لقد أصبح التكييف من الضروريات لأنه يوفر:

- وسطاً مناسباً لزيادة الإنتاج .
- جواً خاصاً يلائم غرف العمليات في المستشفيات ، مصانع الأدوية ومصانع تجميع الأجهزة الدقيقة .
- بيئة مناسبة للصناعات مثل صناعة الغزل والنسيج ، صناعة الورق صناعة الدخان والصناعات الغذائية .
- جواً خاصاً لحفظ الكتب، الرسومات والتحف في المكتبات والمتاحف
- هواء مكيفاً لراحة الإنسان في وسائل النقل على اختلاف أنواعها
- وسطاً مريحاً للإنسان في المنازل ، الفنادق ، المسارح ، السينمات ، المطاعم، المحلات التجارية ، المباني الإدارية والمكاتب الخاصة والعامة .

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الأول

أسس التدفئة والتكييف والتهوية الصناعية

Fundamentals of Heating , Air-conditioning and Industrial Ventilating Process

١-١ مفاهيم:

١-١-١ التكييف:

يعرّف تكييف الهواء بأنه التحكم في درجة حرارة الهواء ورطوبته ونقاوته وسرعة جريانه خلال المكان للحصول على وسط مريح خالٍ من الغبار والغازات الفاسدة والروائح في جميع فصول السنة. وهو بشكل عام إصلاح للهواء، إما بتسخينه أو تبريده مع ترطيبه أو إزالة الرطوبة منه، وذلك للحصول على درجة الحرارة والرطوبة المطلوبتين داخل المكان بالإضافة إلى نقاوة وجريان مناسب للهواء.

ولا يعتبر تكييف الهواء في الوقت الحالي من الكماليات بل من الضروريات لأنه يوفر للإنسان هواء مكيفاً للراحة في كل من المساكن وأماكن العمل، وفي وسائل المواصلات، ويعتبر التكييف عاملاً فعالاً في الصناعة لزيادة الإنتاج الصناعي و تحسين نوعيته.

١-١-٢ أقسام التكييف:

١- تكييف بهدف راحة الإنسان : أي تأمين وسط مريح للإنسان

٢- تكييف لأجل الصناعة : وهو تأمين شروط حرارية مناسبة لعمل الآلات بشكل جيد في المصانع بغية الحصول على منتج ممتاز. أي تأمين درجة

حرارة ورطوبة مناسبة للآلات والمنتج معا. ومثال على ذلك (معامل النسيج ومعامل التبغ ومعامل صناعة الورق ..... الخ).

١-٢ التهوية :

هو إدخال الهواء النقي الجديد و طرد الهواء الداخلي الملوث و تتم عمليا إما بطرد الهواء من المكان أو بإدخال الهواء إلى المكان أو كليهما معا و ذلك تبعا للضغط المطلوب داخل المكان باعتباره موجبا أو سالبا طبقا لنقاوة المكان

إن عملية التهوية تختلف عن تكييف الهواء حيث إن هناك بعض الأماكن تحتاج للتهوية أكثر من حاجتها إلى تكييف الهواء، ومن هنا فإن نظام تكييف الهواء قد يحوي على عملية تهوية وقد لا يحوي .

يحدد معدل التهوية طبقا للمكان أو طبقا لعدد الأشخاص في المكان، وجدير بالذكر أن المراوح التي تستعمل في داخل المنازل لا تعتبر وسيلة للتهوية.

١-٣ التدفئة :

هي رفع درجة حرارة الهواء المحيط بالإنسان إلى الدرجة المناسبة، وهناك مراجع عديدة في هذا المجال منها:

١. المرجع الأمريكي: جمعية المهندسين الأميركيين للتدفئة والتبريد وتكييف الهواء و هو بأربعة أجزاء و يرمز له ASHRAE اختصارا لـ :

American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers

المرجع الإنكليزي: معهد هندسة التدفئة و التهوية و يرمز له IHVE اختصارا لـ :

The Institution of Heating and Ventilating Engineers

١-٤ التدفئة المركزية:

حيث يتم توليد الحرارة خارج المكان المراد تدفئته ثم تنتقل إليه بواسطة الأنابيب أو المجاري الحرارية، وتصنف التدفئة حسب نوع الوسيط الناقل للحرارة كما يلي :

١-٤-١ التدفئة بالماء الساخن:

وهي تدفئة مركزية، وتقسم حسب درجة حرارة الماء الموجود في شبكة التغذية إلى:

- تدفئة بالماء الساخن ذي درجة الحرارة المنخفضة
- تدفئة بالماء الساخن ذي درجة الحرارة المرتفعة

١-٤-٢ التدفئة بالبخار:

ويمكن أن تتم بالبخار ذي الضغط المنخفض أو بالبخار ذي الضغط العالي، ولكن التدفئة بالبخار غير مسحبة وذلك لأن درجة حرارة سطوح أجهزة التدفئة أكبر من 100 درجة مئوية، وتستخدم في المعامل والمنشأة الصناعية.

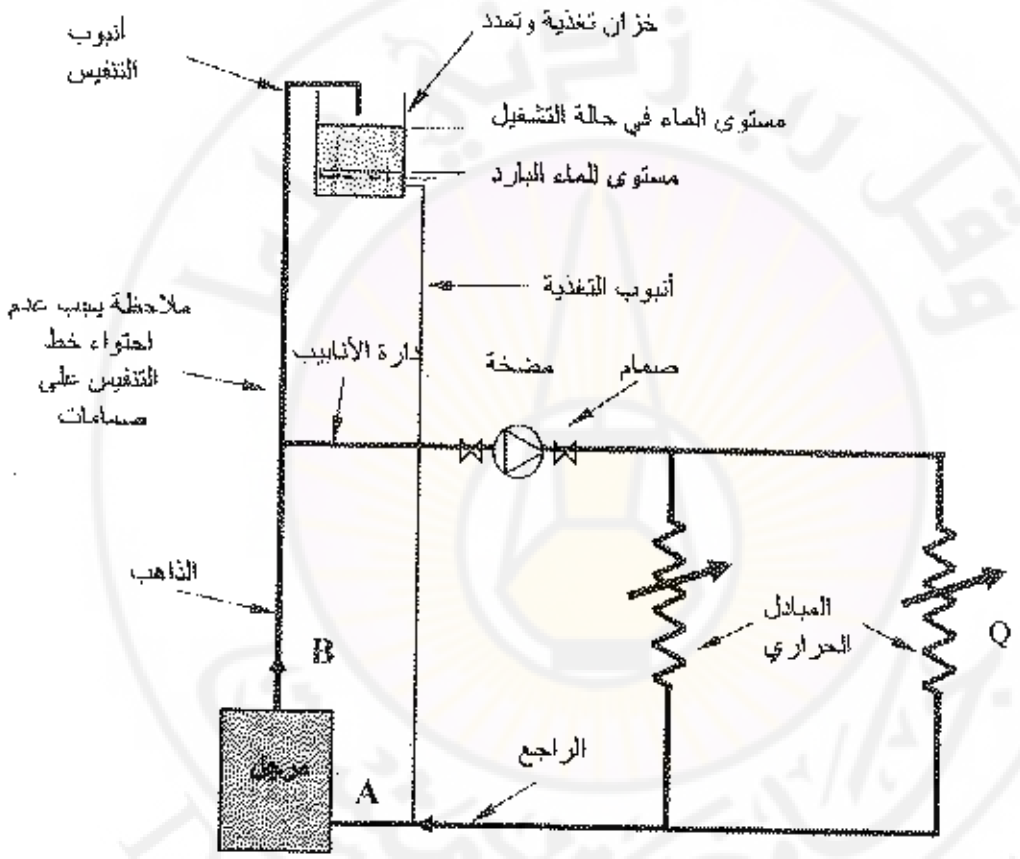
١-٤-٣ التدفئة بالهواء الساخن:

يسخن الهواء اللازم للتدفئة في مركز خاص ثم ينتقل بواسطة مجار خاصة إلى الأماكن المراد تدفئتها (تدفئة مركزية) ، كما يمكن أن يسخن الهواء محليا بواسطة أجهزة خاصة (تدفئة محلية) وتستخدم هذه التدفئة في القاعات الكبيرة .

١-٥- أجزاء دارة التدفئة :

تتألف مجموعة التدفئة بشكل عام من مبادل حراري يوضع في المكان المدفأ، ومرجل يعطي الحرارة اللازمة للتدفئة، وأنابيب لنقل وسيط التسخين من المرجل

إلى المبادل الحراري، ويوجد في الدارة أيضا متممات مثل مضخة التسريع وخزان التمدد وأنبوب التغذية وأنبوب التنفيس وغيره من المتممات. والشكل التالي يبين أجزاء دارة التدفئة و عليها المسميات.



نظام تدفئة مع خزان تمدد مفتوح

الفصل الثاني
انتقال الحرارة في التدفئة و التكييف
Heat Transfer for Heating and Air-conditioning

٢-١ أهمية انتقال الحرارة:

إن كمية الحرارة المنتقلة في واحدة الزمن عبر سطوح التبادل الحراري تعتمد في حسابها على معرفة معاملات انتقال الحرارة للسطوح التي تتطلب معرفة أسس انتقال الحرارة.

يمكن تمثيل كمية الحرارة المنتقلة بالعلاقة التالية:

$$Q = U \times A \times (ti - to)$$

حيث :

Q- كمية الحرارة المنتقلة.

U- معامل انتقال الحرارة.

A- مساحة سطح التبادل.

ti- درجة الحرارة الداخلية للغرفة.

to- درجة الحرارة الخارجية.

٢-٢ الانتقال الحراري:

لمعرفة الحمل الحراري للمكان المراد تدفئته أو تبريده يجب معرفة المعلومات الكافية حول موضوع انتقال الحرارة حيث تؤثر الأجسام على بعضها البعض حراريا، فالحرارة تنتقل بشكل تلقائي (طبيعي) من الجسم الساخن إلى الجسم

الأقل سخونة حتى تتساوى درجة حرارتهما ويحدث بينهما ما يسمى بالتوازن الحراري .

إن انتقال الحرارة الذي يحدث داخل الأجسام أو داخل الجسم الواحد هو عملية فيزيائية معقدة ويتم بثلاثة طرق:

١- الإشعاع Radiation

٢- الحمل Convection

٣- التوصيل Conduction

٢-٢-١ التبادل الحراري بالإشعاع

هو تحويل الطاقة الحرارية إلى إشعاعية، ونقلها إلى الفراغ المحيط بالجسم عن طريق الأمواج الكهرطيسية والفوتونات . مع ارتفاع درجة حرارة الجسم تتزايد طاقة الإشعاع بسبب تزايد الطاقة الداخلية للجسم، وعند درجات الحرارة العالية جداً يصبح الإشعاع الشكل الأساسي لانتقال الحرارة، وذلك لكون تأثير فعالية الإشعاع بدرجة الحرارة أكبر بكثير من تأثير الحمل.

تختلف عملية انتقال الحرارة بالإشعاع عن عملية التبادل الحراري بالتوصيل أو الحمل، فطاقة الإشعاع تنتقل من الجسم الساخن إلى الجسم البارد(كما في حالة التوصيل و الحمل)، وكذلك من الجسم البارد إلى الجسم الساخن، والنتيجة لهذا التأثير المتبادل هي كمية الحرارة المنتقلة بالإشعاع.

٢-٢-٢ قانون ستيفان بولتسمان:

يعبر هذا القانون عن العلاقة الكائنة بين درجة الحرارة المطلقة للجسم ومقدار الطاقة الإشعاعية الإجمالية q المنطلقة من الجسم.

$$q_r = \sigma_o T^4$$

ثابت ستيفان - بولتسمان

$$\sigma_o = 5.67 \times 10^{-8} \ W/m^2 \cdot K^4$$

لتبسيط الحسابات تكتب العلاقة السابقة كما يلي:

$$q_o = c_o \times (\frac{T}{100})^4$$

حيث :

c_o معامل الجسم مطلق السواد ويساوي $5.67.....W/m^2 \cdot K^4$

للأجسام الحقيقة غير مطلقة السواد (الرمادية) كمية الحرارة التي يشعها الجسم الرمادي بالعلاقة التالية.

$$q = c \times (\frac{T}{100})^4$$

و لكن قيمة c تنسب عندها للأجسام الرمادية

لمقارنة كمية الحرارة التي يشعها الجسمان مطلق السواد و الرمادي وذلك عند درجة الحرارة نفسها

نستخدم البارامتر ε المسمى درجة سواد الجسم .

$$\varepsilon = \frac{q}{q_o} = \frac{c}{c_o}$$

إن قانون ستيفان – بولتسمان للأجسام الرمادية يكتب بالشكل التالي:

$$q = \varepsilon \cdot \sigma_o \cdot T^4 = \varepsilon \cdot c_o \cdot (\frac{T}{100})^4$$

حيث :

$c = \varepsilon \cdot c_o$ معامل إشعاع الجسم الرمادي

ε معامل الإصدارية للأجسام الرمادية دائما أقل من الواحد، وهي تتعلق بطبيعة الجسم ودرجة حرارته، ويتم إيجادها بالطرائق التجريبية.

٢-٢-٣ تبادل الحرارة بالإشعاع بين سطحين:

لنأخذ الحالة التالية:

سطح مشع مساحته $A1$ و درجة حرارته T_1 ضمن غرفة درجة حرارة سطوحها الوسطية T_2

فيكون

$$Q_r = \varepsilon \times \sigma \times A_1 \times (T_1^4 - T_2^4)$$

وبالتبسيط يمكن أن نكتب

$$Q_r = \alpha_r \times A_1 \times (T_1 - T_2)$$

حيث معامل انتقال الحرارة بالإشعاع :

$$\alpha_r = \frac{\varepsilon \times \sigma (T_1^4 - T_2^4)}{T_1 - T_2}$$

ويمكن أن تكتب علاقة α_r بالشكل التالي :

$$\alpha_r = \varepsilon \times \sigma (T_1^2 + T_2^2) \cdot (T_1 + T_2)$$

٢-٣ انتقال الحرارة بالحمل:

هو انتقال الحرارة في السائل أو الغاز نتيجة لحركة جزيئاته الساخنة التي تشكل تيارات الحمل. حيث تعمل هذه التيارات على توازن درجة حرارة السائل أو الغاز.

ونميز بين الحمل الحر، حيث تنتقل جزيئات السائل بسبب فرق الكثافة الناتج عن فروق درجات الحرارة والحمل القسري إذا كانت حركة جزيئات السائل بسبب مؤثر خارجي (مروحة - خلاط - مضخة)

لقد وجد أن المقاومة الحرارية للطبقة الحدية $R=\frac{\delta}{\lambda}$ أكبر بكثير من المقاومة الحرارية للتيار الخارجي المضطرب (الموجود بعد الطبقة الحدية باتجاه محور الأنبوب)

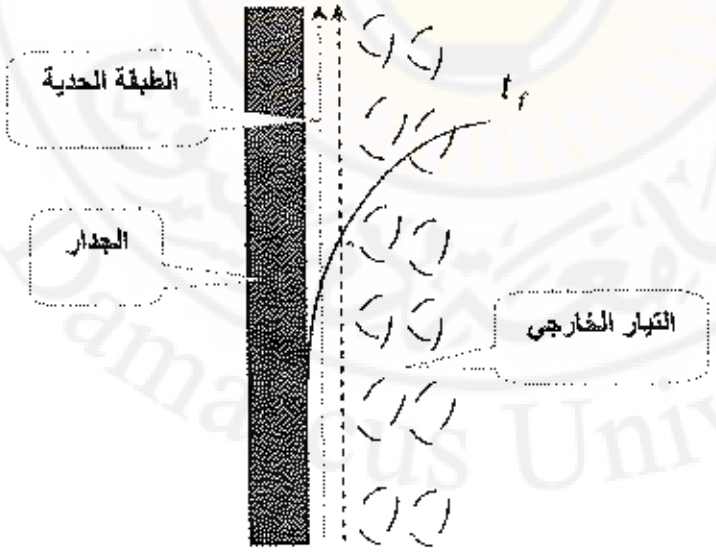
لذا تعد مقاومة الطبقة الحدية العامل المحدد لعمليات التبادل الحراري بالحمل.

حيث :

R مقاومة الطبقة الحدية لانتقال الحرارة ووحدتها $m^2 \cdot °C/W$

δ سماكة الطبقة الحدية m

λ معامل التوصيل الحراري $W/m \cdot °C$ ، وتؤخذ قيمته من جداول خاصة حيث يتعين معامل التوصيل الحراري بالتجارب، وهو يتبع لنوع المادة المصنوع منها الحاجز.



٢-٣-١ معادلة التبادل الحراري بالحمل:

تحسب كمية التبادل الحراري بالحمل بالعلاقة التالية:

$$Q=\alpha_c \times A\times(t_f - t_s)$$

حيث:

$(t_f - t_s)$: فرق درجات الحرارة بين المائع و السطح C °.

α_c : معامل انتقال الحرارة بالحمل $W/m^2.°C$

وهو كمية الحرارة تكتسبها أو تفقدها واحدة السطوح خلال واحدة الزمن عندما يكون فرق درجتي حرارة السطح و الوسط مساويا 1°C

إن قيمة المعامل α_c تحدّد بالتجارب، وذلك بسبب العوامل الكثيرة المؤثرة عليه

٢-٤ انتقال الحرارة بالتوصيل:

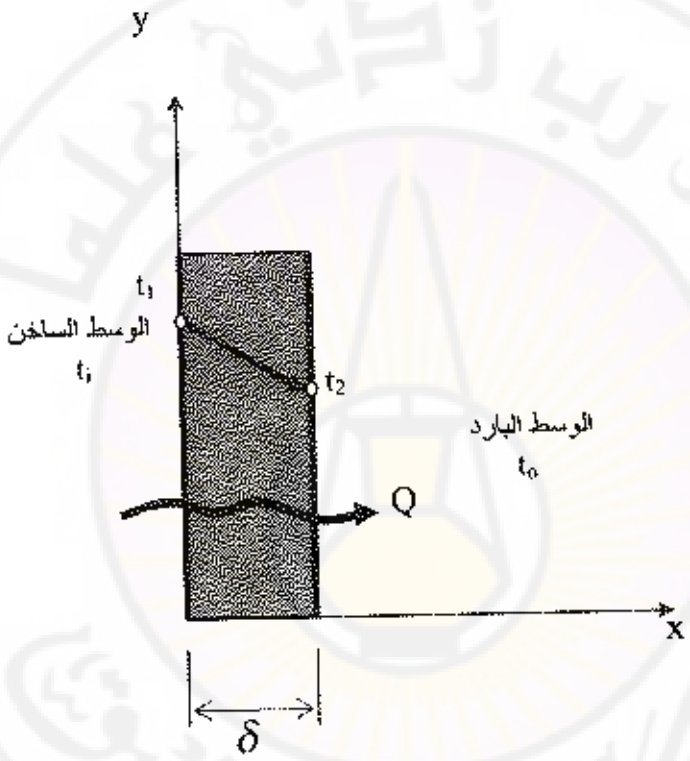
هو انتقال الحرارة من جزيئات الجسم الساخن إلى جزيئاته الأكثر برودة و المتماسة مع الجزيئات الساخنة. ويمكن أن يتم ضمن وسط (صلب - سائل - غازي).

٢-٤-١ انتقال الحرارة عبر جدار مستو:

لندرس انتقال الحرارة بالتوصيل عبر جدار متجانس وحيد الطبقة سماكته (δ) صغيرة إلى حد الإهمال بالنسبة إلى طوله وعرضه. معامل التوصيل الحراري للجدار معلوم وثابت $\lambda = const$ ودرجتا الحرارة على جانبي الجدار ثابتتان وتتحقق بينهما العلاقة $t_1 > t_2$. في مثل هذه الحالة تنتشر الحرارة بالاتجاه العمودي على الجدار المحور X .

(ينطبق محور العينات الممثل لدرجات الحرارة على السطح الخارجي للجدار بينما يمثل محور السينات سماكة الجدار)

تحدد كمية الحرارة المنتقلة عبر واحدة المساحة من سطح الجدار باتجاه المحور X خلال وحدة الزمن من قانون فوريه .



$$q = -\lambda \frac{dt}{dx}$$

$$q = \frac{\lambda(t_1 - t_2)}{\delta} = \frac{(t_1 - t_2)}{\delta/\lambda} = \frac{(t_1 - t_2)}{R} \qquad \ldots\ldots (1)$$

(δ/λ)- المقاومة الحرارية للجدار ويرمز لها بـ R ووحدتها $(m^2.°C/W)$

كمية الحرارة النوعية تتناسب طردا مع فرق درجات الحرارة $(t_1 - t_2)$ و عكسا مع المقاومة الحرارية

أما كمية الحرارة الكلية المارة عبر الجدار ذي المساحة A

$$Q = q \cdot A = \frac{(t_1 - t_2)}{\delta / \lambda} \cdot A = \frac{1}{R} \cdot A \cdot \Delta t \qquad (2)$$

من المعادلة (١) يمكن الحصول على درجتي الحرارة على سطحي الجدار كالتالي:

$$t_2 = t_1 - q\frac{\delta}{\lambda}$$

$$t_1 = t_2 + q\frac{\delta}{\lambda}$$

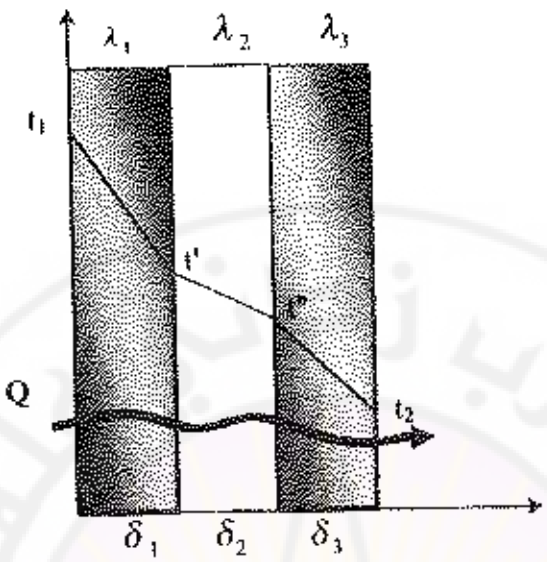
و في الحالة العامة درجة الحرارة في أي مقطع من الجدار

$$t_x = t_1 - q\frac{\delta}{\lambda}$$

٢-٤-٢ انتقال الحرارة عبر جدار متعدد الطبقات:

في الواقع غالبا ما نواجه جدارا مؤلفا من عدة طبقات مختلفة المواد. لندرس عملية انتقال الحرارة عبر جدار متعدد الطبقات مؤلف من ثلاث طبقات متلاصقة بإحكام فيما بينها وسماكتها على التوالي δ_1 و δ_2 و δ_3، أما معاملات توصيلها الحراري فهي λ_1 و λ_2 و λ_3 على التوالي ودرجة حرارة السطحين معلومتان و ثابتتان و يتحقق بينهما العلاقة $t_1 > t_2$

بما أنه عند ثقل درجات حرارة مستقرة يكون التيار الحراري المار عبر جدار مؤلف من عدة طبقات هو نفسه التيار الذي يمر عبر كل طبقة:



فإنه يمكن استخدام المعادلة (٢) لكل طبقة.

$$Q=\frac{(t_1-t')}{R_1}.A$$

$$Q=\frac{(t'-t'')}{R_2}.A$$

$$Q=\frac{(t''-t_2)}{R_3}.A$$

من المعادلات الثلاث السابقة يمكن أن نحصل على هبوط درجات الحرارة في الطبقات المختلفة

$$(t_1-t')=\frac{R_1.Q}{A}$$

$$(t'-t'')=\frac{R_2.Q}{A}$$

$$(t' - t_2) = \frac{R_3 . Q}{A}$$

بجمع الأطراف اليمنى و اليسرى للمعادلات السابقة نحصل على:

$$(t_1 - t_2) = \frac{Q}{A}(R_1 + R_2 + R_3)$$

$$Q = \frac{((t_1 - t_2)}{(R_1 + R_2 + R_3)} A$$

$$Q = \frac{((t_1 - t_2)}{\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda 2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}\right)} A$$

بفرض مساحة الجدار تساوي $1\ m^2$ تصبح المعادلة السابقة على النحو التالي:

$$q = \frac{(t_1 - t_2)}{\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}\right)}$$

و بشكل عام يحسب التدفق الحراري بالمعادلة التالية

$$Q = \frac{(t_1 - t_2)}{\sum_{i=1}^{n} \frac{\delta i}{\lambda i}} . A$$

$\sum_{i=1}^{n} \frac{\delta i}{\lambda i}$ - حيث يمثل المقاومة الحرارية الإجمالية للجدار متعدد الطبقات.

مثال- 1:

حدد كمية الحرارة التي تنتقل عبر جدار بيتوني سماكته 40 cm وارتفاعه 4m و طوله 5 m إذا علمت أن درجة حرارة السطح للجدار $t_1 = 20°C$ ،

أما درجة حرارة سطحه الخارجي فهي $t_2 = 0°C$ و معامل التوصيل الحراري للبيتون $\lambda_1 = 1W/m°C$

الحل:

$$Q = \frac{(t_{w1} - t_{w2})}{\sum_{i=1}^{n} \frac{\delta i}{\lambda i}} .A = \frac{(20-0)}{\frac{0.4}{1}} .(4 \times 5) = 1000\ W$$

مثال - 2:

يتألف جدار موقد مستو من طبقتين الأولى من الآجر سماكتها $\delta_1 = 50\,cm$ ومعامل توصيلها الحراري $\lambda_1 = 1.16\ W/m \cdot C$ والطبقة الثانية من آجر البناء وسماكتها $\delta_2 = 25cm$ و معامل توصيله الحراري $\lambda_2 = 0.58$ W/m °C. احسب:

١- كمية الحرارة المنتقلة عبر واحدة السطوح عند التوصيل الحراري بالنظام المستقر

٢- درجة الحرارة على حدود التماس بين الطبقتين.

علما بأن درجة حرارة السطح الداخلي للجدار $t_1 = 1260\,°C$

و درجة حرارة السطح الخارجي $t_3 = 108°\,C$

الحل:

السماكة الكلية تساوي

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = 0.5 + 0.25 = 0.75\ m$$

المقاومة الحرارية الكلية:

$$R = R_1 + R_2 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda 2} = \frac{0.5}{1.16} + \frac{0.25}{0.58} = 0.862 \ \frac{m^2.°C}{W}$$

معامل التوصيل الحراري الكلي:

$$\lambda_{tot} = \frac{\delta}{R} = \frac{0.75}{0.862} = 0.87 \ \frac{W}{m.°C}$$

$$q = \frac{\lambda_{tot}}{\delta}(t_1 - t_3) = \frac{0.87}{0.75}(1260 - 108) = 1336 \ \frac{W}{m^2}$$

وعندها فإن درجة الحرارة على الحد الفاصل:

$$t_2 = t_1 - q \cdot \frac{\delta_1}{\lambda_1} = 1260 - 1336 \times 0.431 = 684 \ °C$$

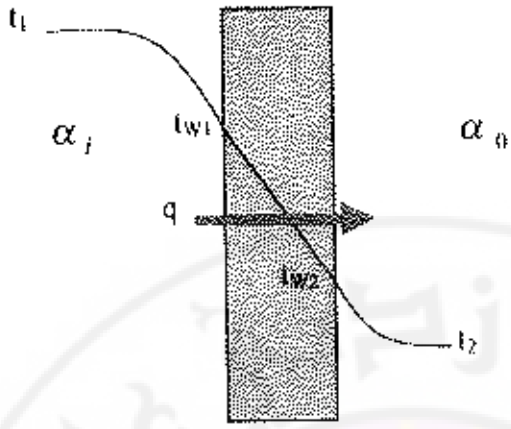
٢-٤-٣ انتقال الحرارة من وسط إلى آخر عبر جدار:

انتقال الحرارة من وسط (غازي أو سائل) إلى وسط آخر عبر جدار فاصل بينهما ندعوه بانتقال الحرارة الكلي، وكأمثلة على هذا انتقال الحرارة من المياه الساخنة ضمن المشعلات إلى الهواء في المكان المدفأ.

لندرس انتقال الحرارة من وسط ساخن إلى وسط بارد عبر جدار متجانس:

لدينا جدار مستو معامل توصيله الحراري ثابت $\lambda = const$ سماكته δ يفصل بين وسطين ساخن وبارد

معامل انتقال الحرارة بالحمل والإشعاع من الوسط الساخن إلى الجدار α_i ومعامل انتقال الحرارة بالحمل والإشعاع من الجدار إلى الوسط البارد α_0



درجتا الحرارة t_1 و t_2 ثابتة وتغير درجة الحرارة للوسطين والجدار يتم بشكل عمودي على الجدار.

مع العلم ان درجة حرارة سطحي الجدار مجهولة t_{w1} , t_{w2} والمطلوب تحديد كمية الحرارة المنتقلة عبر واحدة السطوح التي تعبر هذا الجدار (q).

تحسب كمية الحرارة المنتقلة خلال واحدة السطح من الوسط الساخن إلى الجدار بالعلاقة التالية:

$$q = \alpha_i (t_1 - t_{w1})$$

وبالتوصيل عبر الجدار بالعلاقة :

$$q = \frac{\lambda}{\delta}(t_{w1} - t_{w2})$$

و بالحمل من الجدار إلى الوسط البارد:

$$q = \alpha_o (t_{w2} - t_2)$$

إن كمية الحرارة المنتقلة خلال واحدة السطح في جميع الحالات السابقة واحدة و ثابتة و ذلك عند الاستقرار الحراري و بالتالي:

$$(t_i - t_{w1}) = \frac{q}{\alpha_i}$$

$$(t_{w1} - t_{w2}) = \frac{q \cdot \delta}{\lambda}$$

$$(t_{w2} - t_2) = \frac{q}{\alpha_o}$$

بجمع العلاقات الثلاثة الأخيرة نحصل على:

$$t_1 - t_2 = q \cdot (\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o})$$

و بالتالي كمية الحرارة المنتقلة خلال واحدة السطح:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o})}$$

او بشكل مختصر:

$$q = U \cdot (t_1 - t_2)$$

حيث:

$$U = \frac{1}{(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o})}$$

يسمى المعامل U : معامل انتقال الحرارة الكلي، وهو يصف فعالية انتقال الحرارة و واحدته $(W/m^2.°C)$.

٢-٤-٣-١ **معامل انتقال الحرارة الكلي** U :

هو كمية الحرارة المنتقلة عبر واحدة المساحة من جدار في واحدة الزمن و ذلك عندما يكون الفرق بين درجتي الحرارة على طرفي الجدار مساويا لدرجة واحده. يسمى مقلوب U المقاومة الحرارية و نرمز له بـ $R = \frac{1}{U}$ وواحداتها $m^2.^\circ C/W$

والمقاومة الحرارية لجدار مؤلف من طبقة واحدة تحسب بالعلاقة التالية

$$R = \frac{1}{U} = (\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o})$$

$$R = R_i + R_w + R_o$$

إن كل حد من حدود المعادلة السابقة هو مقاومة حرارية

$R_i = \frac{1}{\alpha_i}$: المقاومة الحرارية لانتقال الحرارة بالحمل من الوسط الساخن إلى سطح الجدار.

$R_w = \frac{\delta}{\lambda}$: المقاومة الحرارية بالتوصيل للجدار.

$R_0 = \frac{1}{\alpha_0}$: المقاومة الحرارية لانتقال الحرارة بالحمل من سطح الجدار إلى الوسط البارد.

أما إذا كان الجدار مؤلفا من عدة طبقات متلاصقة بإحكام فإن معامل انتقال الحرارة الإجمالي من الوسط الساخن t_1 إلى البارد t_2 عبر الجدار المؤلف من n طبقة ومعاملات توصيلها $\lambda_1 .. \lambda_2 .. \lambda_3 .. \lambda_n$ يساوي إلى

$$U = \frac{1}{(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + --- \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_0})}$$

أو

$$U = \frac{1}{(\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_0})}$$

أما التدفق الحراري عبر جدار مساحته A

$$Q = q \cdot A = U \cdot A \cdot (t_1 - t_2)$$
$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

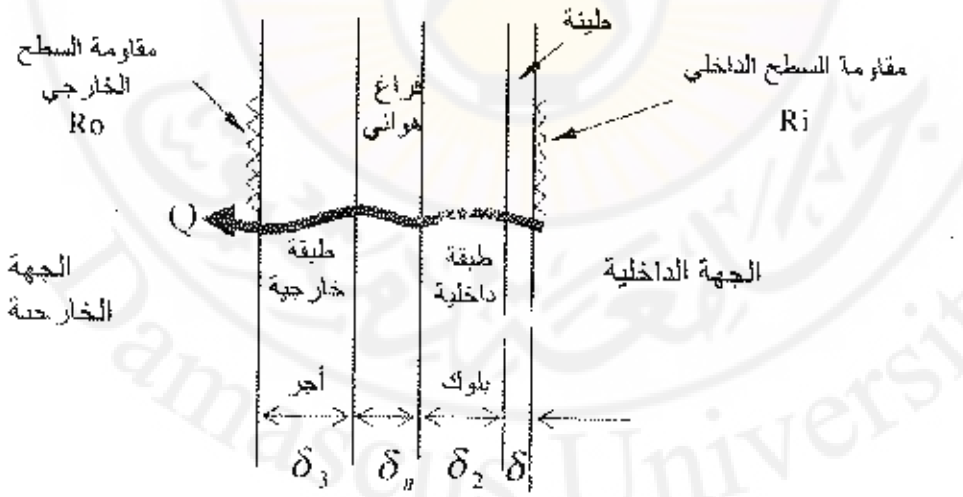
حيث:

ΔT : هبوط درجة الحرارة.

A : مساحة الجدار.

٤-٤-٢ حالة جدار مؤلف من عدة طبقات بينهما فراغ هوائي:

في حال وجود عدة طبقات كما في الشكل التالي يحسب معامل انتقال الحرارة الكلي من العلاقة التالية :



جدار مؤلف من عدة طبقات بينهما فراغ هوائي

$$U = \frac{1}{(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_0})}$$

$$U = \frac{1}{(R_i + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + R_g + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + R_0)}$$

مثال- 3:

حدد كمية الحرارة المنتقلة من الغازات إلى الهواء و كمية الحرارة المنتقلة خلال واحدة السطح عبر جدار من الآجر سماكة 25cm ومساحة $A=12\ m^2$ إذا علمت:

١. معامل التوصيل الحراري للغلاف الآجري $\lambda = 0.81\ W/m.^\circ C$.

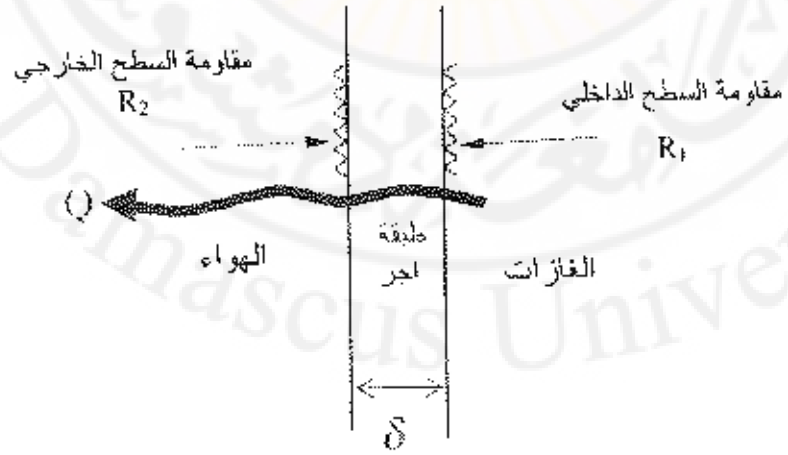
٢. درجة حرارة الهواء $t_2 = 30°C$

٣. درجة حرارة الغازات $t_1 = 330°C$

٤. معامل انتقال الحرارة من الغازات إلى سطح الجدار $\alpha_1 = 23.6\ W/m^2.^\circ C$

ومعامل انتقال الحرارة من سطح الجدار إلى الهواء $\alpha_2 = 9.3\ W/m^2.^\circ C$

٥. أوجد درجتي حرارة السطحين الداخلي و الخارجي للغلاف.



الحل:

حساب معامل انتقال الحرارة الكلي

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}\right)} = \frac{1}{\frac{1}{23.6} + \frac{0.25}{0.81} + \frac{1}{9.3}}$$

$$U = 2.18 \ W/m^2.°C$$

التدفق الحراري

$$Q = U \cdot A \cdot (t_1 - t_2) = 2.18 \times 12 \cdot (330 - 30)$$

$$Q = 7848 \ W$$

أما كمية الحرارة المنتقلة خلال واحدة السطح:

$$q = \frac{Q}{A} = \frac{7848}{12} = 654 \frac{W}{m^2}$$

درجة حرارة سطح الجدار من جهة الغازات:

أما $t_{w1} = t_1 - q \cdot R_1 = t_1 - \frac{q}{\alpha_1} = 330 - \frac{654}{23.6} = 330 - 27.7 = 302.3°C$

درجة حرارة سطح الجدار من جهة الهواء الخارجي:

$$t_{w2} = t_2 + q \cdot R_2 = t_2 + \frac{q}{\alpha_2} = 30 + \frac{654}{9.36} = 30 + 69.87 = 99.87°C$$

مثال- 4:

حدد كمية الحرارة المنتقلة خلال واحدة السطح q عبر جدار ممتو فولاذي سماكته $\delta = 10 \ mm$ ومعامل توصيله الحراري $\lambda = 50 \ W/m.°C$ ودرجة حرارة الغازات $t_1 = 1127°C$ ودرجة حرارة المياه الساخنة $t_2 = 100°C$ ومعامل انتقال الحرارة من الغازات إلى الجدار

$\alpha_2 = 5000\ W/m^2.^\circ C$ ومن الجدار إلى المياه الساخنة $\alpha_1 = 100\ W/m^2.^\circ C$

حدد كذلك درجات حرارة السطوح وعامل انتقال الحرارة الإجمالي عبر الجدار U

أجر الحساب في الحالتين:

١- سطح التسخين نظيف.

٢- على السطح طبقة من هباب الفحم سماكتها $\delta = 2mm$ ومعامل توصيلها الحراري $\lambda = 0.09\ W/m.^\circ C$.

حدد كم مرة سينخفض عامل انتقال الحرارة الإجمالي U نتيجة ظهور طبقة الهباب.

الحل:

١- الحالة الأولى :

كمية الحرارة المنتقلة خلال واحدة السطح في هذه الحالة تتحدد من المعادلة التالية:

$$q = U \times (t_1 - t_2)$$

حيث:

$$U = \frac{1}{(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o})}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{100} + \frac{0.01}{50} + \frac{1}{5000}}$$

$$U = 96.2\ (\frac{W}{m^2.^\circ C})$$

بالتعويض نجد:

$$q = U \times (t_1 - t_2) = 96.2 \times (1127 - 100)$$

$$q = 96.2 \times 1027 = 98797.40 \ (W/m^2)$$

درجة حرارة سطح الجدار من جهة الغازات:

$$t_{w1} = t_1 - \frac{q}{\alpha_i} = 1127 - \frac{98797.4}{100} = 139\,^{\circ}C$$

درجة حرارة سطح الجدار من جهة المياه:

$$t_{w2} = t_2 + \frac{q}{\alpha_w} = 100 + \frac{98797.4}{5000} = 119.76^{\circ}C$$

٢- الحاله الثانية:

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_w}\right)}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{100} + \frac{0.002}{0.09} + \frac{0.01}{50} + \frac{1}{5000}} = 30.7 \ (W/m^2.^{\circ}C)$$

و بالتالي كمية الحرارة المنتقلة خلال واحدة السطح في هذه الحالة

$$q = U \times (t_1 - t_2) = 30 \times (1127 - 100)$$

$$q = 30810 \ (W/m^2)$$

درجة حرارة السطح الخارجي لطبقة هباب الفحم (من جهة غازات الاحتراق)

$$t_{w1} = t_1 - \frac{q}{\alpha_1} = 1127 - \frac{30810}{100} = 818.9^{\circ}C$$

درجة حرارة السطح الداخلي لطبقة هباب الفحم (المتلامسة مع جدار الأنبوب)

$$t_{w2} = t_2 - q\frac{\delta_1}{\lambda_1} = 818.9 - 30810\ \frac{0.002}{0.09}$$

$$t_{w2} = 134.23\ ^\circ C$$

درجة حرارة السطح الداخلي للجدار من جهة (الماء)

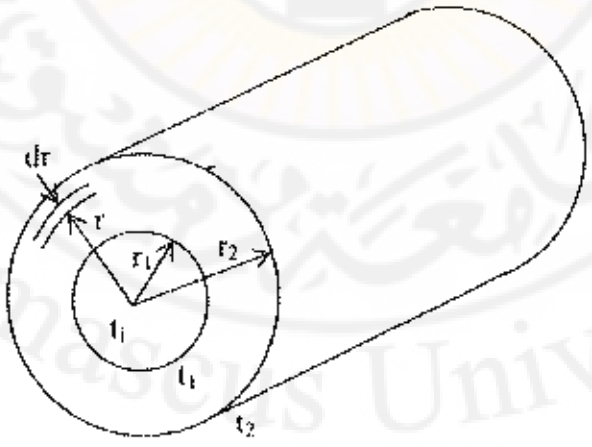
$$t_{w1} = t_2 + \frac{q}{\alpha_2} = 100 + \frac{30810}{5000} = 106.16.5^\circ C$$

وكما نلاحظ أن وجود طبقة هباب الفحم بسماكة $\delta = 2\ mm$ على سطح الجدار يعمل على تخفيض معامل انتقال الحرارة الإجمالي بمقدار (3.13 مرة)

٢-٤-٥ البث الحراري من الأنابيب:

لنأخذ أنبوبا بنصف قطر r_1 و نصف قطر خارجي r_2 إذا كانت λ معامل انتقال الحرارة لمعدن الأنبوب

يمكن أن نكتب كمية الحرارة لواحدة الطول من الأنبوب بالشكل التالي:



من علاقة انتقال الحرارة بالتوصيل

$$q = -\lambda \times 2\pi \times r \frac{dt}{dr}$$

$$q \int_{r1}^{r2} \frac{dr}{r} = -\int_{t_1}^{t_2} \lambda \times 2\pi \times dt$$

$$q = \frac{\lambda \cdot 2\pi \cdot (t_1 - t_2)}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

و عند اعتبار المقاومة الداخلية والخارجية للأنبوب تصبح العلاقة كما يلي :

$$q = \alpha_i \times 2\pi \times r_1 (t_i - t_1)$$

$$q = \frac{\lambda \times 2\pi}{\ln \frac{r_2}{r_1}} (t_1 - t_2)$$

$$q = \alpha_0 \times 2\pi \times r_2 (t_2 - t_0)$$

حيث :

t_i درجة حرارة السائل ضمن الأنبوب

t_0 درجة حرارة الهواء المحيط بالأنبوب

α_i معامل انتقال الحرارة بالحمل و الإشعاع للسطح الداخلي

α_0 معامل انتقال الحرارة بالحمل و الإشعاع للسطح الخارجي

من هذه العلاقات يمكن أن نحصل على العلاقة العامة لانتقال الحرارة من داخل الأنبوب إلى الجو الخارجي و ذلك لواحدة الطول:

$$q = \frac{2\pi \times (t_i - t_0)}{\frac{1}{\alpha_i r_1} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_0 r_2}}$$

فإذا اعتبرنا أن U معامل انتقال الحرارة الكلي للأنبوب منسوب إلى السطح الخارجي تصبح العلاقة السابقة من الشكل

$$q = U \times 2\pi \times r_2 \times (t_i - t_0)$$

$$U = \frac{1}{\frac{r_2}{\alpha_i \times r_1} + \frac{r_2 \ln \frac{r_2}{r_1}}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_0}}$$

يمكن إهمال المقاومة الداخلية أي المقدار $\frac{r_2}{\alpha_i \times r_1}$ والمقدار $\frac{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}}{\lambda}$ لصغرهما بالمقارنة مع قيمة المقاومة الخارجية $\frac{1}{\alpha_0}$ وبذلك يمكن القول إن $(t_i \approx t_0)$

لدينا $\alpha_0 = \alpha_c + \alpha_r$ تساوي مجموع انتقال الحرارة بالحمل والإشعاع

و يمكن الحصول عليها من جداول خاصة

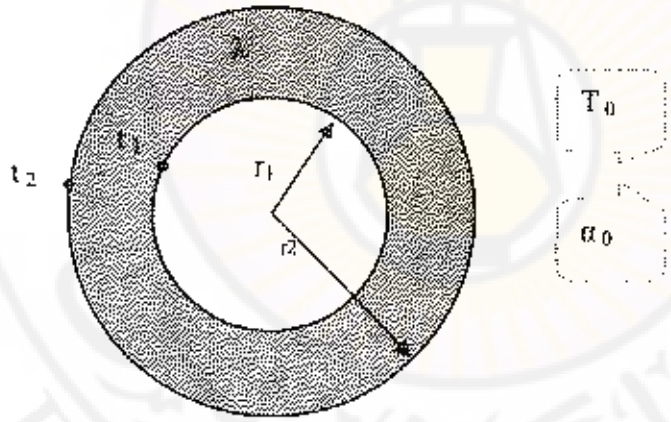
عند استعمال طبقات عازلة تصبح العلاقة على الشكل التالي

$$Q = \frac{2\pi \times l \times (t_i - t_0)}{\frac{1}{\alpha_i r_1} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{\lambda_1} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{\lambda_2} + \ldots\ldots + \frac{1}{\alpha_0 r_n}}$$

٢-٤-٦ إيجاد سماكة العازل للأنابيب:

لحساب سماكة العازل يمكن إهمال مقاومة و سماكة الأنبوب نفسه و أيضا مقاومة السطح الداخلي للأنبوب حيث نعتبر:

- درجة حرارة السطح الداخلي للعازل t_1 و التي تساوي تقريبا درجة حرارة السائل ضمن الأنبوب.
- درجة حرارة السطح الخارجي للعازل t_2.
- درجة حرارة الهواء الخارجي المحيط بالأنبوب t_0.
- قطر العازل الداخلي r_1 .
- قطر العازل الخارجي r_2.
- معامل انتقال الحرارة للسطح الخارجي للعازل α_0



يمكن حساب كمية الحرارة الضائعة من وحدة الطول للأنبوب المعزول كما يلي :

على سطح العازل لواحدة الطول

$$q = \alpha_0 \times r_2 \times 2\pi \cdot (t_2 - t_0)$$

ضمن العازل لواحدة الطول

$$q = \frac{\lambda \times 2\pi}{\ln \frac{r_2}{r_1}} (t_1 - t_2)$$

من تساوي العلاقتين يمكن أن نكتب:

$$\frac{t_1 - t_2}{t_2 - t_0} \times \frac{\lambda}{\alpha_0} = r_2 \ln \frac{r_2}{r_1}$$

نقسم الطرفين على r_1 :

$$\frac{t_1 - t_2}{t_2 - t_0} \times \frac{\lambda}{\alpha_0 \times r_1} = \frac{r_2}{r_1} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}$$

نرسم خط بياني للعلاقة

$$y = \frac{r_2}{r_1} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

وهي من الشكل

$$y = x \ln x$$

حيث:

$$x = \frac{r_2}{r_1}$$

يمكن حساب y من معرفة درجات الحرارة و قيمة المعاملات

λ , α_0 , r_1 من العلاقة التالية:

$$y = \frac{t_1 - t_2}{t_2 - t_0} \times \frac{\lambda}{\alpha_0 \times r_1}$$

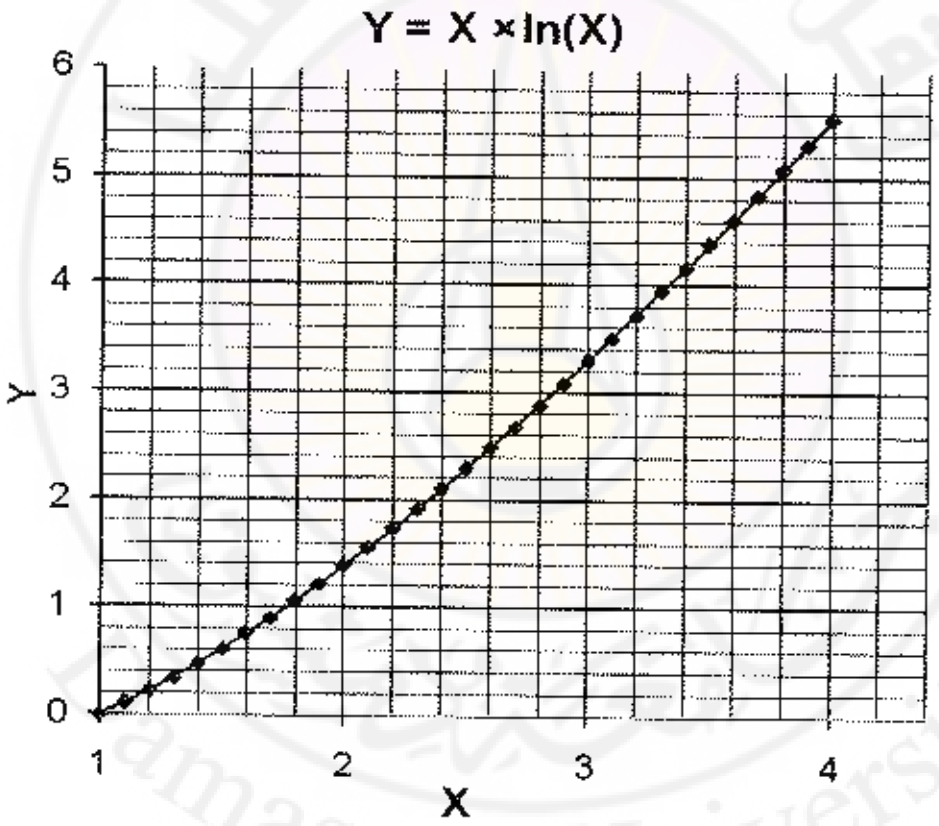
من معرفة قيمة x يمكن معرفة نصف القطر الخارجي r_2 للعازل بمعلومية نصف القطر الخارجي للأنبوب

لرسم الخط البياني تعطى x قيم و تحسب قيمة y من العلاقة $y = x \ln x$

1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1	X
1.22	1.06	0.90	0.75	0.61	0.47	0.34	0.22	0.10	0	Y

2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2	X
3.09	2.88	2.68	2.48	2.29	2.10	1.92	1.73	1.56	1.39	Y

3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2	3.1	3.1	3	X
5.07	4.84	4.61	4.38	4.16	3.94	3.72	3.51	3.51	3.30	Y



Damascus University

٢-٤- ٧ تأثير موضع العازل الحراري على الاختزان الحراري :

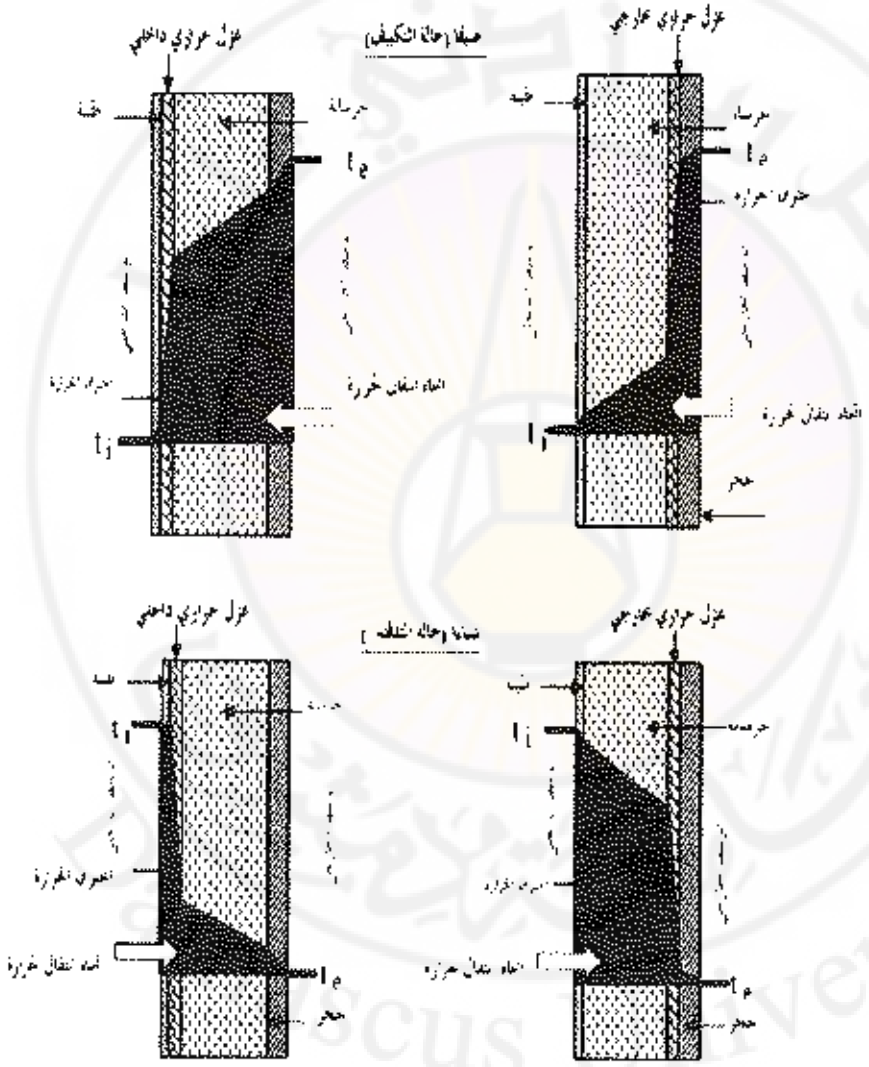
٢-٤-٧-١ عزل خارجي :

في الحالات التي يتم فيها وضع طبقة ثقيلة جيدة الاختزان الحراري في الجانب الداخلي من العنصر الإنشائي مع وضع الطبقة الخفيفة العازلة للحرارة إلى الخارج، فإن الطبقة الداخلية تقوم بامتصاص الحرارة الداخلية أثناء تدفئة البناء واختزانها والاحتفاظ بها، بينما تقوم الطبقة الخارجية (العازلة للحرارة) بإعاقة انتقال الحرارة المختزنة إلى الخارج والحيلولة دون فقدانها السريع . وتكون كمية الحرارة المختزنة في هذه الحالة كبيرة، إلا أن هذه الحرارة المختزنة تنبعث ثانية إلى داخل البناء في فترات توقف أجهزة التدفئة عن العمل مما يساعد على بقاء الجو الداخلي دافئا لفترة من الزمن. أما في فصل الصيف ، فإن الطبقة الخارجية (العازلة للحرارة) تعمل على إعاقة انتقال الحرارة الخارجية المرتفعة إلى الداخل ، وتحمي الطبقة الداخلية من تأثيرات الحرارة الخارجية ، حيث تعمل هذه الطبقة الداخلية كخزان تبريدي منظم للحرارة الداخلية في البناء، فتقوم بامتصاص الحرارة المتسربة إلى الداخل من خلال الأبواب والنوافذ ، وإخمادها.

٢-٤-٧-٢ عزل داخلي :

في الحالات التي يتم فيها وضع الطبقة الخفيفة العازلة للحرارة إلى الداخل، فإنها ونتيجة لصغر موصليتها الحرارية وتدني اختزانها للحرارة، تعمل على إسراع عملية تدفئة الأبنية أو تكييفها . إلا أن توقف أجهزة التدفئة أو التكييف يؤدي أيضا إلى سرعة فقدان الحرارة الداخلية شتاءً وارتفاعها صيفاً. يتضح مما سبق أن على المصمم وضع الطبقة العازلة للحرارة بما يتلاءم وطبيعة إشغال البناء

ومتطلباته الحرارية (بيت سكني، مكتب، مدرسة ... الخ)، حيث إن الإشعاع الشمسي الخارجي أثناء النهار وتغير درجات الحرارة بين الليل والنهار لهما تأثير كبير على مقدار الاختزان الحراري والإجهادات الحرارية التي تتعرض لها عناصر البناء في فصلي الصيف والشتاء، ويبين الشكل التالي مبدأ اختزان الحرارة في العناصر الإنشائية لمواضع مختلفة للعازل الحراري صيفاً وشتاءً.



مبدأ اختزان الحرارة في العناصر الإنشائي

٢-٤-٧-٣ المتطلبات التصميمية وفق الكود السوري:

أ – معامل الانتقال الحراري الكلي:

بموجب الكود العربي السوري للعزل يجب أن لا تتجاوز قيمة معامل الانتقال الحراري الكلي لكل عنصر من عناصر البناء القيم المذكورة في الجدول التالي.

القيم العظمى المسموح بها لمعامل انتقال الحرارة الكلي لعناصر البناء

العنصر الإنشائي	معامل انتقال الحرارة الكلي الأعظمي W/m2. °C	
السقف الأخير	U_{roof}	0.5
الجدران الخارجية بدون فتحات	U_{ow}	0.8
الفتحات الزجاجية $A_{win} \leq 0.2\ A_{face}$	U_{win}	5.2
الفتحات الزجاجية $A_{win} > 0.2\ A_{face}$	U_{win}	3.5
الواجهات الخارجية شاملة جميع الفتحات	U_{face}	1.5
الأرضيات الملاصقة للتربة	U_G	1
الأرضيات مابين الطوابق	U_F	1
الأرضيات المكشوفة	U_F	0.5
حيث A_{face} : مساحة الواجهة A_{Win} : مساحة النوافذ و الأبواب		

ب– كمية بخار الماء المتكاثف ضمن العناصر الإنشائية:

- يجب أن لا تتجاوز كمية بخار الماء المتكاثف داخل العنصر الإنشائي عن $0.5\ kg/m^2$
- يجب أن لا تتجاوز كمية بخار الماء المتكاثف عن $0.35\ kg/m^2$ داخل المادة العازلة من النوع الليفي أو ضمن فراغ هوائي أو اي مادة عالية الامتصاص للماء عند حدوث التكاثف الجوفي ضمنهما.

٢-٤-٨ العزل الحراري و الدراسة الاقتصادية لسماكة العازل:

إن كلفة العازل المستعمل سواء للمباني المدفأة أو المكيفة أو للتجهيزات المعزولة تعتمد على:

١- ثمن العازل أو كلفته التأسيسية

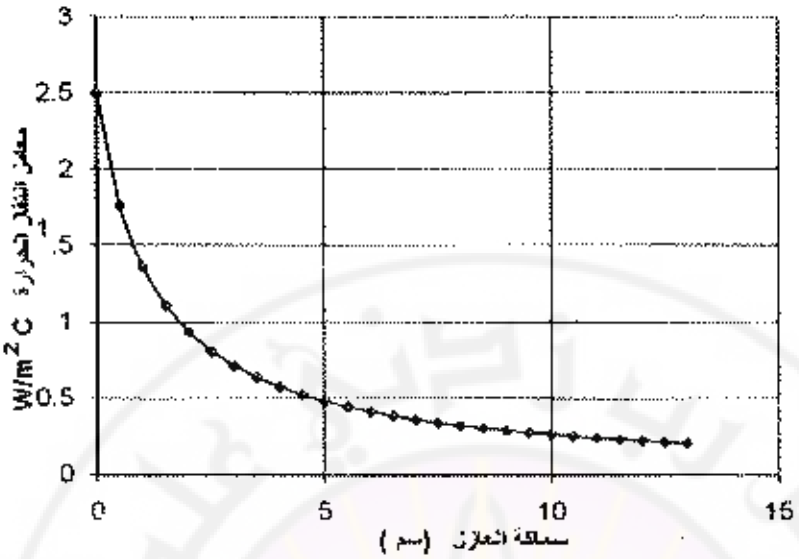
٢- قيمة الطاقة الموفرة بوضع هذه الكمية من العازل.

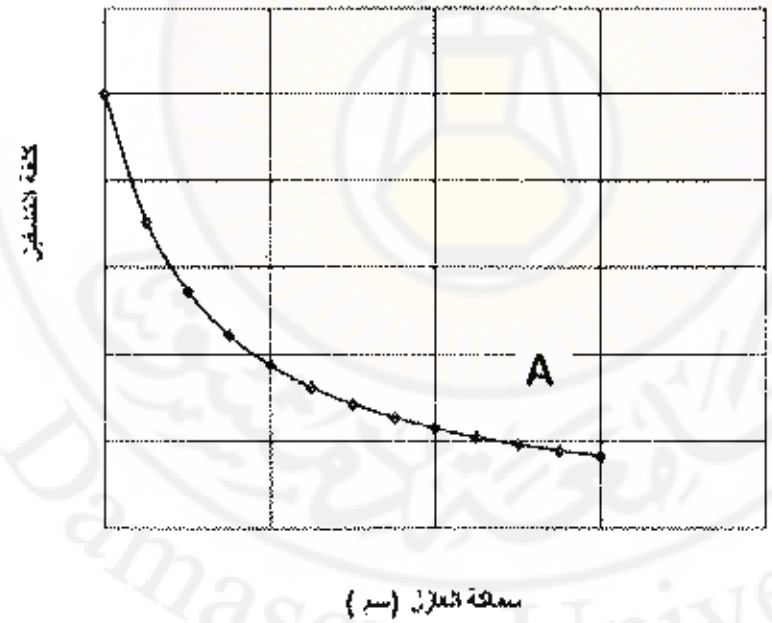
يبين المنحي A انخفاض قيمة معامل انتقال الحرارة مع ازدياد سماكة العازل، وهذا بدوره يؤدي إلى انخفاض كلفة التشغيل مع ازدياد سماكة العازل كما هو موضح بالشكل A، أما المنحني B فيبين ازدياد الكلفة التأسيسية مع ازدياد سماكة العازل. بجمع المنحيين A و B نحصل على المنحي C الذي يمثل الكلفة الكلية . يلاحظ أن المنحني C يمر بنهاية صغرى ثم يبدأ بالزيادة. تعتمد النهاية الصغرى على سعر الطاقة وعلى كلفة العازل، مع ازدياد سعر الطاقة تنحرف النهاية الصغرى نحو اليمين وبالتالي فإن زيادة سماكة العازل تتبع لتكاليف الطاقة المستعملة.

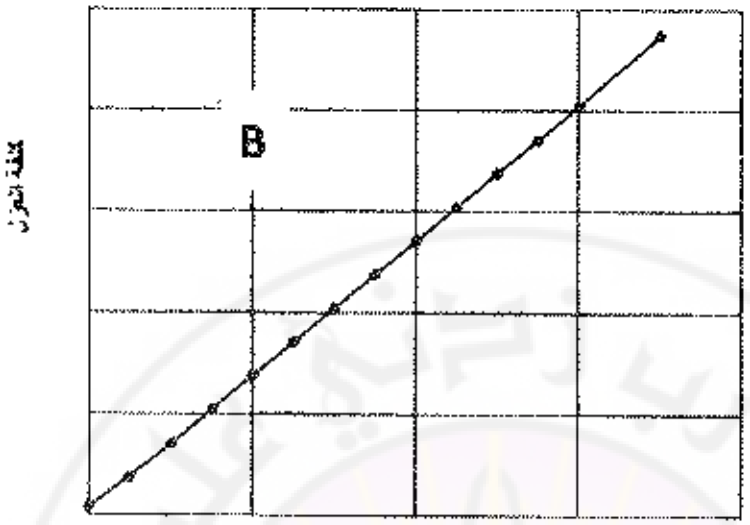
يجب ملاحظة أن الزيادة في سماكة العازل لا تعطي التوفير المرجو منها بعد حد معين، بل تصبح تكاليف إضافية وهذا ما يتضح في الشكل التالي حيث تمثل X سماكة العازل و U معامل انتقال الحرارة الكلي.

5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0	X
0.48	0.53	0.58	0.64	0.71	0.81	0.94	1.11	1.36	1.76	2.5	U

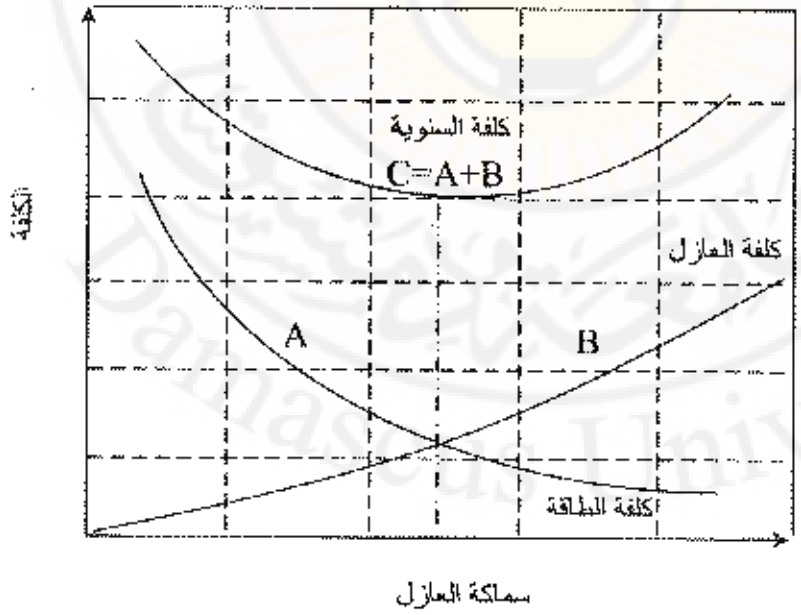
10.5	10	9.5	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	X
0.26	0.27	0.28	0.29	0.31	0.33	0.34	0.37	0.39	0.42	0.45	U


3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
0
5
10
15
معامل انتقال الحرارة W/m^2C
سماكة العازل (سم)


كلفة التشغيل
A
سماكة العازل (سم)



بجمع المنحنين السابقين نحصل على منحن كما في الشكل التالي نحصل على كلفة التشغيل السنوية، و نلاحظ كما في الشكل التالي أن هناك قيمة معينة للعزل تحقق أقل كلفة سنوية



الفصل الثالث
الفقد الحراري من الأبنية
Heat Losses from Buildings

في الأحوال الجوية الباردة يجب المحافظة على درجة حرارة مناسبة للهواء المحيط بالإنسان، وذلك لتأمين التوازن بين كمية الحرارة التي يولدها جسم الإنسان وكمية الحرارة المفقودة منه .

من هنا تكمن أهمية المنبع الحراري ضمن الغرفة الذي يقوم بتعويض كمية الحرارة المفقودة من داخل الغرفة إلى الجو الخارجي وبالتالي المحافظة على درجة الحرارة الداخلية المطلوبة .

٣-١ الحرارة المفقودة من البناء:

تحسب الحرارة المفقودة من البناء و ذلك من أجل تحديد أجهزة التدفئة اللازمة بدقة مقبولة، وتساوي هذه الحرارة إلى مجموع الضياعات الحرارية من (الجدران و الأسقف و الأرضيات والنوافذ و الأبواب والضياعات الناتجة عن تسرب الهواء الخارجي البارد إلى داخل المكان المدفأ). و لتوجيه الجدران و سرعة الرياح تأثير على كمية الحرارة الضائعة .

يتم انتقال الحرارة ضمن الغرفة بالحمل و الإشعاع إلى السطوح الداخلية و داخل الجدران والأسقف بالتوصيل، ومن ثم بالحمل والإشعاع من السطوح الخارجية إلى الهواء الخارجي .

٣-٢ معامل انتقال الحرارة بالحمل و الإشعاع للسطوح الداخلية والخارجية α_i

و α_o

تتوقف قيمة هذا المعامل على طبيعة السطح وعلى سرعة الرياح واتجاهها على هذا السطح وبصورة عامة كلما كان السطح أخشن كان المعامل أكبر ، كما أن قيمة المعامل (α) تزداد بازدياد سرعة الرياح .

يبين الجدول التالي قيم ($R_i = \frac{1}{\alpha_i}$) للسطوح الداخلية. مرجع IHVE

مقاومة السطوح الداخلية $R_i = \frac{1}{\alpha_i}(\frac{m^2 \cdot °C}{W})$			
نوع عنصر البناء	اتجاه التدفق الحراري	المقاومة	
		ε = 0.9	ε = 0.05
جدار	أفقي	0.123	0.304
سقف أو ارض	نحو الأعلى	0.106	0.518
سقف أو ارض	نحو الأسفل	0.150	0.562

يبين الجدول التالي قيم ($R_o = \frac{1}{\alpha_o}$) للسطوح الخارجية مرجع IHVE

مقاومة السطوح الخارجية $R_o = \frac{1}{\alpha_o}(\frac{m^2 \cdot °C}{W})$				
نوع العنصر البناء	ε	المقاومة		
		غير معرض	عادي	معرض
جدار	0.9	0.08	0.055	0.03
جدار	0.05	0.11	0.067	0.03
سقف	0.9	0.07	0.045	0.02
سقف	0.05	0.09	0.053	0.02

أما الجدول التالي فيبين مقاومة الفراغ الهوائي حسب سماكة الفراغ

سماكة الفراغ الهوائي	ε	المقاومة $R_s\ (\frac{m^2 \cdot °C}{W})$	
		تدفق الحرارة نحو الأسفل	تدفق الحرارة نحو الأعلى أو أفقي
5 mm	0.9	0.11	0.11
	0.05	0.18	0.18
20 mm	0.9	0.21	0.18
	0.05	1.06	0.35

٣-٣ معامل انتقال الحرارة بالتوصيل λ :

تتوقف قيمة معامل انتقال الحرارة بالتوصيل λ على نوع المادة وكثافتها و درجة حرارتها، والجدول التالي يبين قيم بعض المواد المستخدمة في البناء:

قيم معامل انتقال الحرارة بالتوصيل λ لمواد البناء $(\frac{W}{m \cdot °C})$			
المواد	λ	المواد	λ
اسمنت	0.96-1.3	خشب	0.17
بلوك	0.7-1	سيراميك	1.50
حجر	1	رخام	2.5
أجر مع فراغات	0.75	صوف زجاجي	0.035
ستر بور	0.04	زجاج	0.8
البولربتان	0.021	هواء	0.026

بلوكاج	1.80	إسفلت	1.2
بلاط	1.60	فلين	0.56
طينة إسمنتية	1	بازلت	2.8
بيتون رغوي	0.4	حديد طري	46
رمل خفان	0.3	ألمنيوم	204
بورسلان	1.5	نحاس	384

أما بالنسبة للأبواب والنوافذ، تعطي بعض الجداول قيم معامل انتقال الحرارة حسب نوعها:

جدول الأبواب

طراز الباب	نوع الباب	معامل الانتقال الحراري الكلي U W/m^2.°C
باب خارجي	معدني	6.4
	خشبي بسماكة 5 cm	2.4
	مع زجاج بسيط	4.6
	مع زجاج مزدوج	2.8
باب داخلي مع الخشب	مع خشب عادي بسماكة 4 cm	1.2
	مع خشب معاكس مزدوج	1.7

جدول النوافذ

طراز النافذة	معامل الانتقال الحراري الكلي U W/m².°C					
	النوافذ الخارجية			النوافذ الداخلية		
	نافذة خشبية	نافذة فولاذية	نافذة ألمنيوم	نافذة خشبية	نافذة فولاذية	نافذة ألمنيوم
زجاج عادي	5.8	6.4	7.1	3.5	4.3	4
زجاج مزدوج	3	3.7	4.1	2.4	3.1	3.4

٤-٣ تسرب الهواء :

يتم تسرب الهواء عادة عن طريق الأبواب والنوافذ، وذلك لوجود الشقوق ونتيجة لسرعة الهواء في الخارج ويتم حساب التسرب بافتراض عدد مرات تبديل الهواء بالساعة، وذلك اعتمادا على مواصفات الغرفة والجدول التالي يعطي مثالا على ذلك :

مواصفات الغرفة	عدد مرات تبديل الهواء مرة / بالساعة
غرفة لا تحتوي على نوافذ أو أبواب خارجية	0.5
نوافذ في جدار واحد	1
نوافذ في جدارين	1.5
نوافذ في ثلاثة جدران فما فوق	2
مداخل الأبنية	2 – 3
مخازن صغيرة	2 – 3

٣-٤-١ الحمل الحراري الناتج عن تسرب الهواء :

يحسب التسرب من العلاقة

$$Q = C_a \times \rho_a \times \frac{V \cdot n}{3600} \times (t_i - t_o) .$$

حيث :

Q ـ كمية الحرارة المحسوسة اللازمة لتسخين المتسرب (kW)

C_a ـ الحرارة النوعية و تساوي 1.026 kJ/kg .° C

ρ_a ـ كثافة الهواء وتساوي 1.2 kg/m³

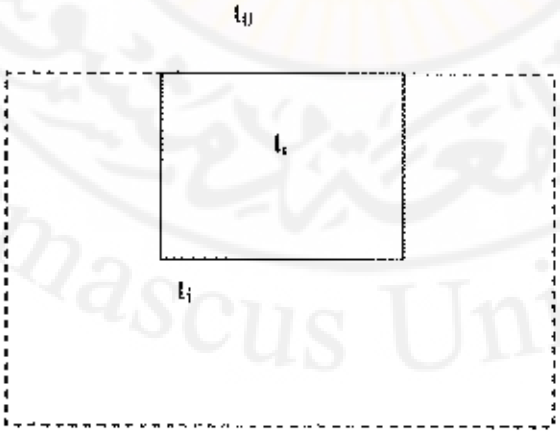
n ـ عدد مرات تبديل الهواء بالساعة

V - حجم المكان m³

$t_i - t_o$ ـ الفرق بين درجة الحرارة الداخلية و الخارجية .

٣-٥ درجة حرارة الأماكن غير المدفأة والمجاورة لأماكن مدفأة:

تحسب من المبدأ التالي كمية الحرارة التي تكسبها من الأماكن المدفأة تساوي إلى كمية الحرارة التي تخسرها إلى الجو الخارجي.



بفرض أن:

- معاملات انتقال الحرارة U_1, U_2, U_3 الموافقة للسطوح A_1, A_2, A_3 غير المدفأة المجاورة للغرف المدفأة
- معاملات انتقال الحرارة K_1, K_2, K_3 الموافقة للسطوح B_1, B_2, B_3 غير المدفأة المجاورة للجو الخارجي
- الضياع الحراري الناتج عن تسرب الهواء لواحدة درجة الحرارة.

$$M \times \rho \times .C_a$$

نكتب العلاقة التالية من التوازن الحراري:

$$Q_{Gain} = (U_1.A_1 + U_2.A_2 + U_3.A_3 + ...) \times (T_i - T_r)$$
$$Q_{Loss} = [(K_1.B_1 + K_2.B_2 + K_3.B_3 + ...) + (M.\rho.C)].(T_r - T_0)$$

ومن مساواة كمية الحرارة المكتسبة مع تلك التي تفقدها الغرفة ينتج:

$$t_r = \frac{t_i \times (U_1 \times A_1 + ...) + t_0 \times (K_1 \times B_1 + ... + M.\rho.C_a)}{(U_1 \times A_1 + ...) + (K_1 \times B_1 + ...) + M.\rho.C_a}$$

مثال:

احسب الحرارة المستقرة التي تصل إليها غرفة أبعادها $(4 \times 4 \times 4\ m)$، والمعرّض منها للجو الخارجي جدار واحد أما باقي السطوح مدفأة حيث تعطى درجة الحرارة الخارجية $t_0 = 0°C$ و درجة حرارة الغرف المجاورة المدفأة $t_i = 25$ °C ومعامل انتقال الحرارة الوسطي لسطوحها U= 1.45 W/m2.°C ومعدل تبديل هواء الغرفة / 5 / مرات في الساعة. وكتلة الهواء النوعية $\rho = 1.24\ kg/m^3$ و حرارة الهواء النوعية $C_a = 1026\ J/kg.°C$

$$t_r = \frac{t_i \times (U_1 \times A_1 + ...) + t_0 \times (K_1 \times B_1 + ... + M.\rho.C)}{(U_1 \times A_1 + ...) + (K_1 \times B_1 + ...) + M.\rho.C}$$

$$t_r = \frac{25 \cdot (1.45 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 5) + 0 \cdot [(1.45 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 1) + (4 \cdot 4 \cdot 4) \cdot \frac{5}{3600} \cdot 1.24 \cdot 1026)]}{(1.45 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 5) + (1.45 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 1) + (4 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 5/3600) \cdot 1.24 \cdot 1026}$$

$$t_r = 11.45°C$$

٦-٣ خطوات حساب الحمل الحراري:

لإيجاد كمية الحرارة اللازمة لتدفئة مبنى يمكن اتباع الخطوات التالية:

١. اختيار درجة حرارة الهواء الخارجية، وسرعة و اتجاه الرياح من دراسة الأحوال الجوية

٢. اختيار درجة الحرارة الداخلية لكل غرفة من البناء .

٣. حساب أو تقدير درجة الحرارة في الغرف غير المدفأة .

٤. اختيار أو حساب معامل انتقال الحرارة الكلي U لجميع سطوح التبادل الحراري.

٥. حساب مساحة السطوح التي يتم من خلالها التبادل الحراري مثل (الجدران ، الأسقف ، الأرض ، النوافذ ، الأبواب، وتؤخذ الأبعاد من المخططات المعمارية)

٦. حساب كمية الضياع الحراري من جميع السطوح وفق العلاقة التالية

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

٧. حساب الضياع الحراري من ارض القبو إن وجد .

٨. حساب الضياع الحراري الناتج عن تدفئة الهواء المتسرب من خارج الغرفة إلى داخلها عن طريق الشقوق والنوافذ والأبواب.

٩. جمع جميع عناصر الضياع السابقة للحصول على الحمل الحراري الكلي Q .

١٠.تؤخذ بعين الاعتبار العوامل التالية لحساب الضياع الحراري الإضافي حيث يحسب من العلاقة:

$$Q_t = Q\ (1 + \frac{P_Z}{100} + \frac{P_S}{100})$$

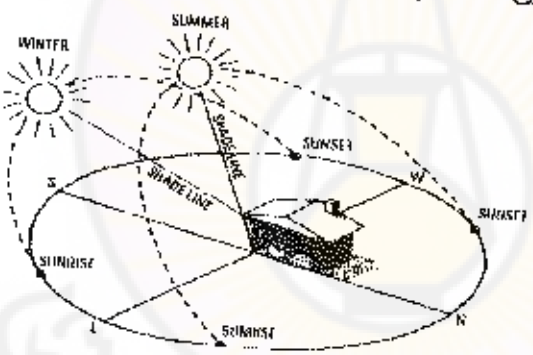
حيث:

Q_t : الضياع الحراري الأساسي .

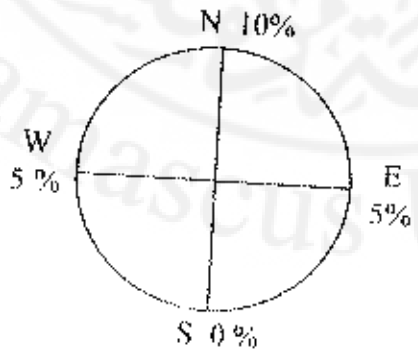
P_Z : يعتبر عامل أمان و يؤخذ ١٠% .

$$P_S = P_{S1} + P_{S2}$$

P_{S1} : هو عامل الإضافة الناتج عن توجيه العنصر وهو يأخذ بعين الاعتبار تأثير الأشعة الشمسية على الحواجز الخارجية.



وقيم هذا المعامل P_{S1} مبنية على الشكل التالي :



P_{S2} : هو عامل الإضافة الناتج عن ارتفاع المكان المدفأ، و يؤخذ من الجدول التالي:

P_{S2} :عامل الإضافة الناتج عن ارتفاع

الارتفاع عن سطح الأرض (م)	4.5	5.4	6.3	7.2	8.1	9	10	12
عامل الإضافة P_{S2} %	1.5	2	2.5	3	3.5	5	7.5	12.5

ملاحظة: يهمل هذا المعامل للارتفاعات التي تقل عن ٩ م

٣-٧ اختيار درجة الحرارة الداخلية t_i :

تعتمد درجة الحرارة الداخلية t_i للمكان المدفأ على طبيعة المكان المطلوب والجدول التالي يبين هذه الدرجات بحسب وظيفة المكان .

المكان	t_i °C
غرفة الطعام و الجلوس و غرف النوم غرف المرضى و المكاتب	20
قاعات المحاضرات و الصفوف	18
أماكن عبادة - متاحف - ممرات - قاعات رياضية - دورات مياه	15
بيوت الدرج	12
المطابخ	18
الحمامات	25
غرفة عمليات غرف فحص المرضى	24
ورش ومعامل	15- 18
محلات تجارية	18
المطاعم	20
الجوامع و الكنائس	18
المخازن و محلات البيع	18

إن تخفيض درجة الحرارة التصميمية الداخلية يخفض من تكاليف التدفئة و من استهلاك الطاقة.

٨-٣ اختيار درجة الحرارة الخارجية t_o :

تتغير درجة الحرارة الخارجية مع ساعات النهار وتغير الأيام والفصول .في المناطق الصحراوية يكون الفارق بدرجات الحرارة بين الليل و النهار كبيراً على عكس المناطق الساحلية، و يعتمد دوما أصغر درجة حرارة خارجية لتغطية كامل أيام الشتاء .

هناك ثلاث طرق لاختيار درجة الحرارة الخارجية وفق المرجع الأمريكي ASHRAE وذلك بأخذ إحدى الأساليب الثلاثة التالية :

١. أسلوب 99 % حيث تسجل درجات الحرارة الخارجية خلال ثلاثة أشهر من الشتاء (كانون الأول - كانون الثاني - شباط) وخلال كل ساعة، ويكون عدد القراءات 2160 و أسلوب 99% يقضي بحذف 1% من أخفض القراءات اي حذف 22 قراءة فتبقى لدينا 2138 قراءة نختار منها أخفض درجة حرارة على أنها درجة حرارة التصميم الخارجية

٢. أسلوب 97.5% حيث نتبع الطريقة السابقة نفسها إلا أنه يحذف أخفض 54، قراءة فيبقى 2106 قراءة وتؤخذ أخفض قراءة على أنها درجة الحرارة الخارجية التصميمية.

٣. أسلوب 95 % من الطريقة السابقة نفسها إلا أنه يحذف أخفض 108 قراءات فيبقى 2052 قراءة ونختار منها أخفض قراءة على أنها درجة الحرارة الخارجية التصميمية.

- تستخدم الطريقة الأولى للأبنية غير المعزولة و ذات السعة الحرارية المنخفضة و الذي يحتوي على مساحات زجاجية كبيرة و يستخدم في أبرد ساعات اليوم
- أما الطريقة الثانية فتستعمل لبناء ذي سعة حرارية متوسطة، و فيه أعداد كبيرة من الناس في أوقات النهار .
- و تستعمل الطريقة الثالثة في الأبنية الكبيرة و المتعددة و المدفأة بشكل إجمالي، نفسها وفيها مساحات زجاجية صغيرة أي البناء ذو سعة حرارية كبيرة و يستطيع أن يختزن الحرارة

<u>ملاحظة:</u>

تتأثر كمية الحرارة المراد تقديمها للبناء بفرق درجة الحرارة بين الخارج و الداخل حيث تتناقص مع انخفاض الفرق بين درجة الحرارة الخارجية و الداخلية .

يبين الجدول التالي الشروط التصميمية للمدن السورية

Damascus University

جدول الشروط التصميمية للمدن السورية ٢٠٠٧

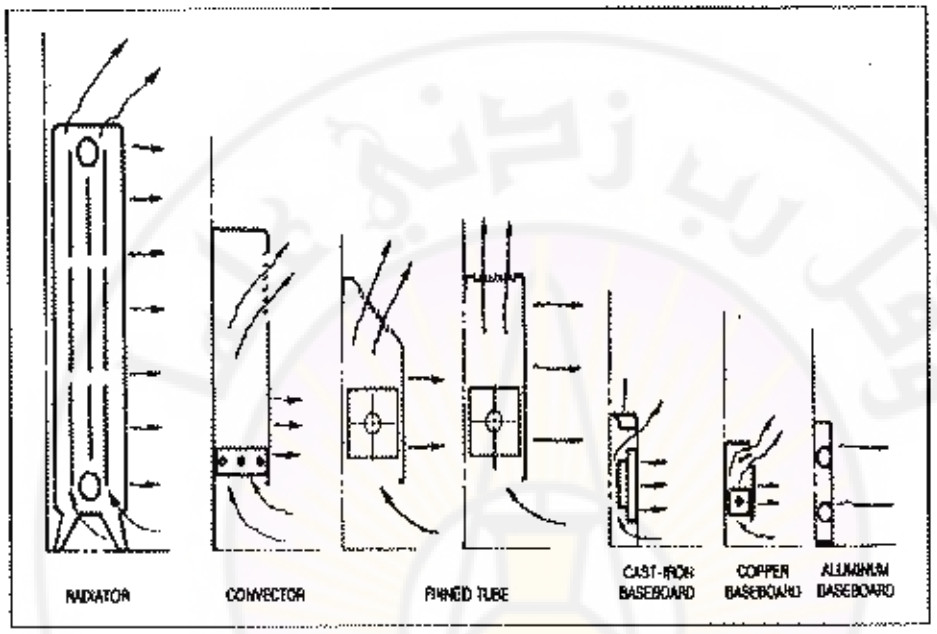
الرقم	المدينة	درجة الحرارة التصميمية C°		الرطوبة النسبية التصميمية %		المدى اليومي C°	معدل الإشعاع الشمسي الكلي التصميمي على سطح مائل [wh/m2.day]		سرعة الرياح [m/s]	اتجاه الرياح		الارتفاع [m]	خط العرض	خط الطول
		صيفا	شتاء	صيفا	شتاء		صيفا	شتاء		صيفا	شتاء			
1	دمشق	40	-2	20	75	19.69	7700	2820	5.5	NW	W	729	33.29	36.13
2	حلب	41	-3	20	75	14.82	7630	2165	5.5	W	E	385	36.11	37.13
3	حمص	38	-3	35	85	12.18	7500	2410	6	SW	W	483	34.46	36.43
4	حماه	40	-2	25	80	14.74	7700	2315	5	SW	W	305	35.07	36.42
5	الرستن	40	-3	30	75	15.3	7600	2350	4	W	W	390	34.55	36.44
6	السلمية	40	-2	30	80	18.74	7700	2315	4	SW	SW	448	35.1	37.02
7	طلب	38	-2	32	75	12.1	7580	2275	7	W	W	451	35.56	36.36
8	طرطوس	34	4	60	65	6.43	7120	2530	4.5	SW	E	5	34.52	35.53
9	اللاذقية	34	4	60	65	5.18	6560	2300	5.5	S	NE	7	35.32	35.46
10	صافيتا	35	1	40	75	7.97	7170	2305	6.5	W	NE	370	34.49	36.07
11	جسر الشغور	37	0	30	65	15.28	7200	2380	5.5	S	NE	530	35.04	36.21
12	سلمية	33	-3	50	65	11	7200	3380	6	S	NE	1100	35.36	36.11
13	تدمر	33	0	30	65	11.1	7850	2660	6	S	NE	730	36.56	36.59
14	القريتين	35	1	50	65	9.78	7200	2380	3.5	S	NE	370	35.25	36.05
15	حمص	35	3	50	70	8.76	6700	2300	5	S	SE	48	35.24	35.57
16	السلمية	40	-4	22	75	15.33	7565	2359	5	W	E	415	36.2	37.13
17	درعا	39	-1	20	75	14.04	7280	2880	4.5	W	SW	543	32.38	36.07
18	السويداء	37	-3	25	75	14.97	7275	2570	5	W	SW	1615	32.41	36.34
19	قنيطرة	38	-2	20	70	17.75	7200	2900	4.5	W	SW	570	32.51	36.14
20	القنيطرة	37	-2	32	85	13.65	7275	2600	8	NW	W	941	33.07	35.49
21	كفر	43	-3	20	75	16.17	7640	2755	7	W	W	400	34.33	36.18
22	القنيطرة	42	-3	20	75	17.54	8000	3020	5.5	W	W	712	33.28	35.39
23	البوكمال	44	-3	20	65	16.16	7850	2940	4	W	W	175	34.26	40.55
24	دير الزور	43	-3	16	75	14.62	7320	2630	5.5	NW	NW	215	35.17	40.1
25	الرقة	42	-3	20	75	14.95	7680	2450	5	W	E	248	35.54	39
26	القامشلي	43	-2	30	70	16.31	7256	3355	3.5	W	N	449	37.02	41.12
27	الحسكة	44	-4	18	75	18.44	7465	2380	4	W	NW	307	36.31	40.42
28	جرابلس	41	-3	20	70	17.5	7200	2275	4	W	SE	351	36.49	38
29	تل أبيض	42	-3	25	75	19.8	7000	2280	3	W	SE	346	36.42	38.57
30	الرقة	40	-1	30	80	15.18	7750	2760	7	W	SW	460	35.24	37.5
31	عفرين	35	-5	25	75	14.69	7645	2610	5	N	S	1329	34.01	36.44
32	سري كانيه	35	-5	25	75	18.5	7765	2830	5.5	NW	NW	1400	33.48	38.1
33	الزهراني	35	-5	20	75	15.61	7650	2610	5	SW	NW	1200	33.43	36.07
34	عفلق	39	-1	25	75	18.14	7600	2700	5.5	NW	W	875	33.26	36.04
35	هراوي	40	-3	20	75	22.36	7720	2770	2	W	W	620	33.3	36.28
36	[illegible]	38	-3	25	75	16.5	7700	2800	4.5	W	N	650	33.39	36.19


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الرابع

المبادلات الحرارية المستخدمة في الأماكن المدفأة

يبين الشكل أنواع مختلفة من المبادلات الحرارية

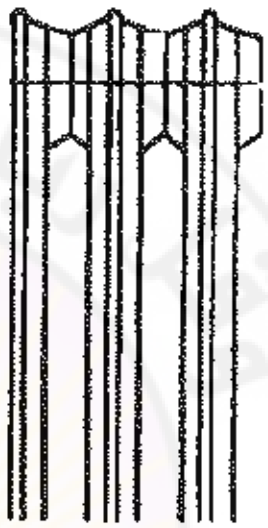


٤-١ المشعات :

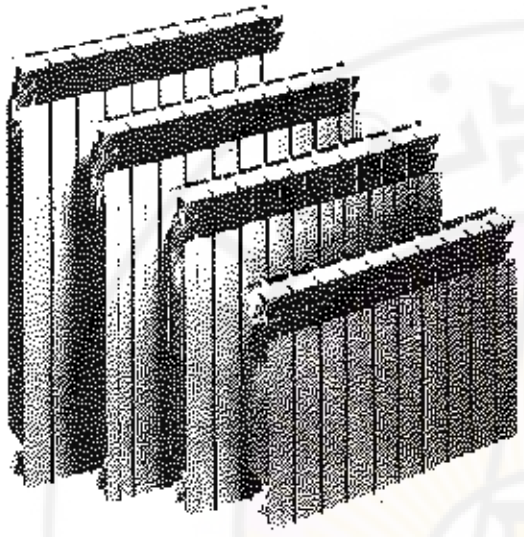
تتكون المشعات من أجزاء متشابهة سهلة الصنع و تجمع مع بعضها بالعدد اللازم لتأمين سطح التسخين المناسب.

وتصنع عادة من الفونت أو صفائح الفولاذ أو الألمنيوم ، وتعطي الشركات الصانعة عامل النفوذ الحراري U لها أو الاستطاعة النوعية بالنسبة لمقاييسه الاسمية عند شروط التشغيل، وعند اختلاف شروط التشغيل عن الشروط التصميمية تصحح القيم المعطاة حسب قيم معامل التصحيح المعطاة في جداول

الصانع . تركب هذه المشعات عادة تحت النوافذ أو على الجدران الخارجية حيث تعطي أفضل تأثير حراري .



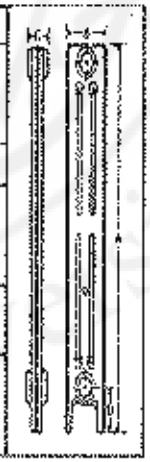
مشعات من الحديد الصب



مشعات من الألمنيوم

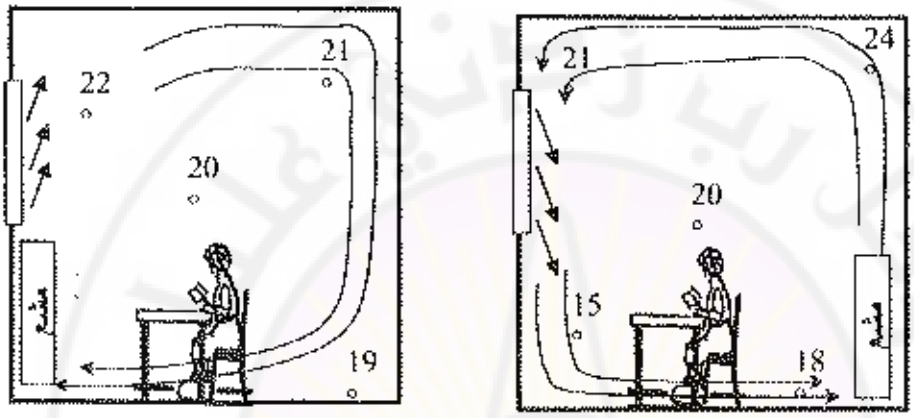
Table 1 Small-Tube Cast-Iron Radiators

Number of Tubes per Section	Catalog Rating per Section,[a] W	Section Dimensions					
		A Height, mm[b]	B Width, mm Min.	B Width, mm Max.	C Spacing, mm[c]	D Leg Height, mm[d]	
3	113	635	83	89	45	65	
4	113	483	113	122	45	65	
	127	559	113	122	45	65	
	141	635	113	122	45	65	
5	155	559	143	160	45	65	
	169	635	143	160	45	65	
6	182	483	173	201	45	65	
	211	635	173	201	45	65	
	240	813	173	201	45	65	



٢-٤ توضع المشعات:

تثبت المشعات غالبا قرب الجدار الخارجي ويفضل تحت النوافذ وذلك لمقاومة تيار الهواء القادم من الخارج، وهي تركب بارتفاع عن الأرض لا يقل عن (10 Cm) وببعد عن الجدار لا يقل عن (6 Cm)

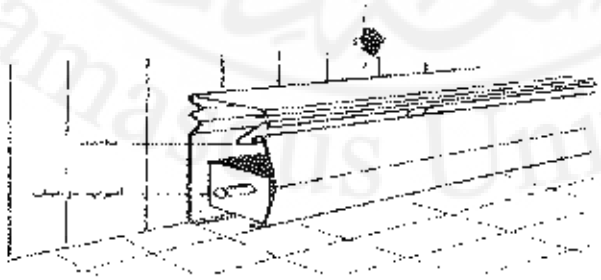


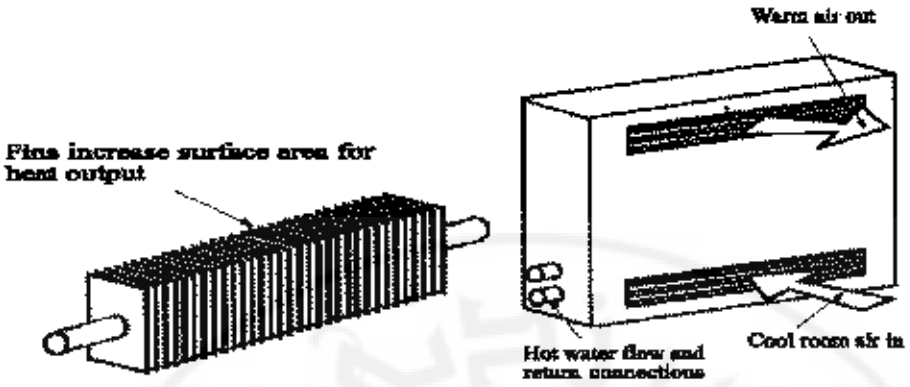
حالة جيدة

حالة سيئة

٣-٤ مبادلات تيارات الحمل:

تتألف هذه المبادلات من أنابيب نحاسية أو فولاذية مركب عليها شفرات (زعانف) مركبة ضمن صندوق من الصاج، يدخل الهواء من الفتحة السفلية و يمر حول الأنابيب و يسخن ثم يخرج من الفتحة العلوية، يتم انتقال الحرارة بالحمل فقط . وتستعمل هذه الأجهزة الماء أو البخار كوسيط للتدفئة، وهي تستعمل في الأماكن العامة وصالحة للتدفئة المنقطعة

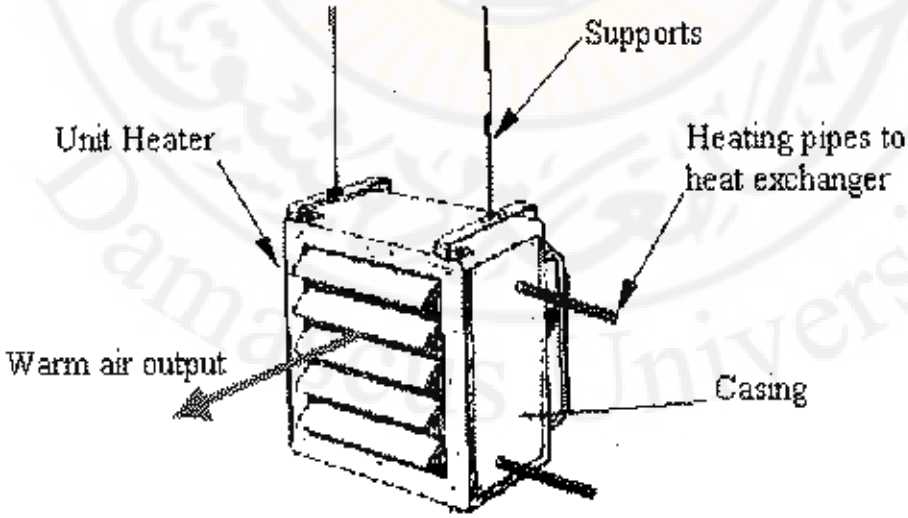




٤-٤ وحدات تدفئة:

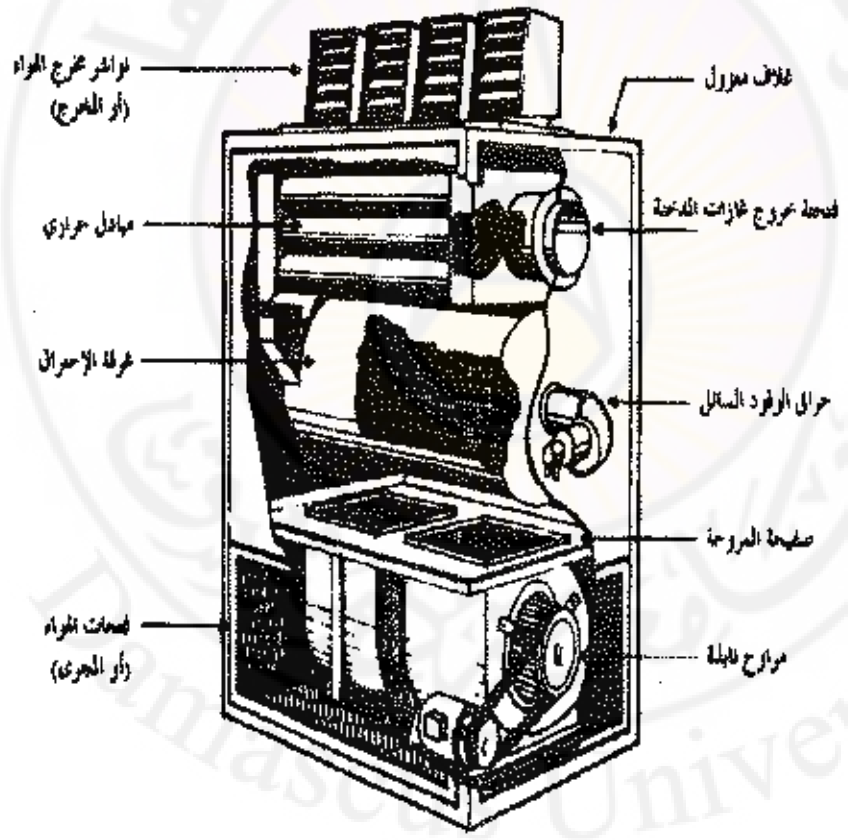
تتألف هذه الوحدة من وشيعة تسخين ومروحة لدفع الهواء عبر هذه الوشيعة، يمكن أن يتم توجيه الهواء بواسطة موجهات توضع على فتحة خروج الهواء .

تركب هذه الوحدات على الجدران أو في السقف، وتصنع هذه الوحدات بمقاييس واستطاعات مختلفة. ويمكن أن يستخدم الماء أو البخار كوسيط للتسخين، ويمكن أن تستخدم هذه الوحدات إما هواء معاد أو هواء جديد أو مزيج من الاثنين بنسبة معينة .



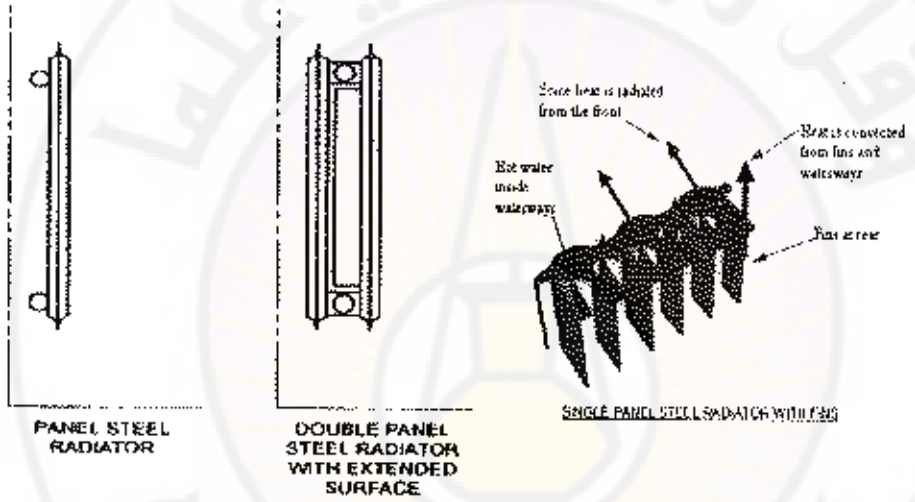
٤-٥ منظومة التدفئة الصناعية بالهواء الساخن:

يستخدم هذا النوع من الأجهزة الموضح بالشكل التالي لتدفئة الحيز الصناعي، وهو يمتلك ميزة كونه بسيطاً في كل من البنية و التشغيل، وهو عبارة عن ممرات توجه من خلالها غازات الاحتراق حيث يتم التبادل الحراري بينها و بين الهواء المندفع فوقها بواسطة مروحة أو عدة مراوح. يبلغ مردود هذه المنظومات حوالي 90% من أجل استطاعات 30-400 kW. يتم تزويد الوقود لهذه الوحدات عبر أنابيب من خزان رئيسي



٦-٤ صفائح مشعة:

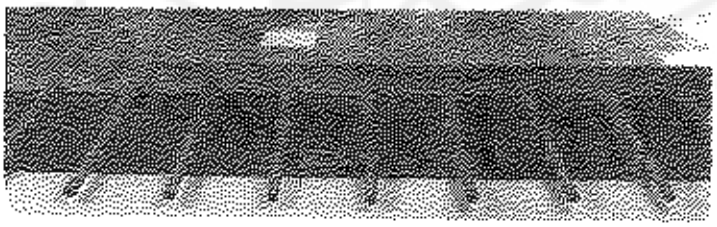
وهي مؤلفة من صفائح معدنية ذات سطح مستو أو متموج قليلاً وهي تمتاز بالعمق القليل وسهولة التنظيف، أما استطاعتها الحرارية النوعية فهي قليلة وبالتالي يجب استعمال مشعات طويلة وهي تصنع من الصاج . تستعمل هذه المشعات في الغرف ذات النوافذ الكبيرة والغرف التي يطلب فيها نظافة جيدة، ويتم انتقال الحرارة من هذه المشعات بالإشعاع من الواجهة الأمامية وبالحمل من الواجهة الخلفية .



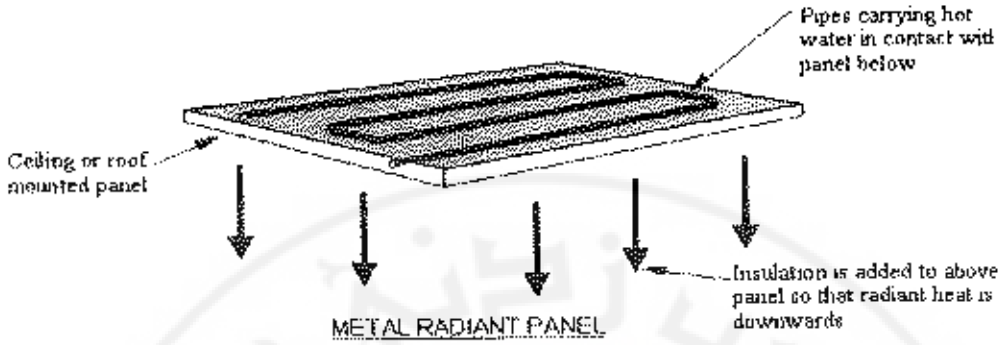
صفائح معدنية مشعة (مفردة وأخرى مزدوجة) و ذات سطح مزعنف

٧-٤ السطوح المشعة (الأرض - الجدران – السقف)

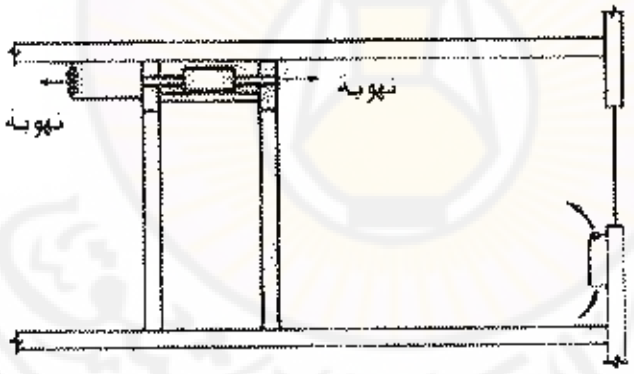
يبين الشكل التالي توضع الأنابيب في نظام تدفئة أرضية



و يوضح الشكل التالي التدفئة السقفية



تجدر الملاحظة إلى أن أنظمة التدفئة (ماء ساخن أو بخار) لا تزودنا بأي هواء تهوية من الخارج. لذا يتم اللجوء إلى فتح النوافذ عند الحاجة أو استخدام نظام تهوية منفصل كما في الشكل حيث يستعمل فراغ سقف الممر من أجل مجاري التهوية.



٨-٤ البث الحراري من المشعات :

يتبع البث الحراري من المشعات بالإشعاع للعلاقة التالية:

$$Q_r = \varepsilon \times \sigma \times \left(T_1^4 - T_2^4\right)$$

يضاف إلى مركبة الإشعاع Q_r مركبة الحمل Q_c

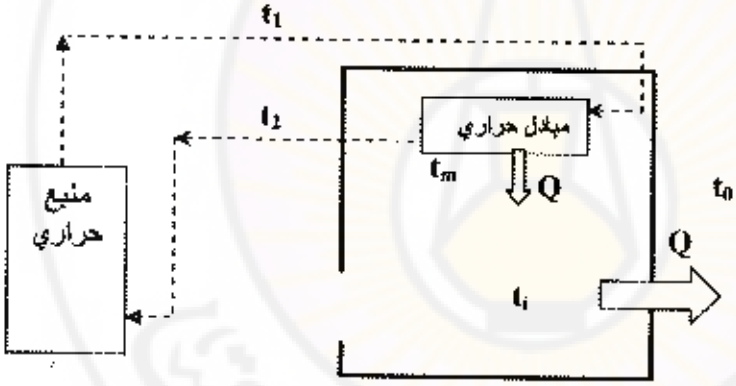
ومجموعهما يعطي البث الحراري من المشع.

$$Q = Q_r + Q_c$$

و يتبع البث الحراري من المشعات في حال اختلاف الشروط الحرارية للعلاقة التجريبية
التالية:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = (\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2})^{1.3}$$

حيث: $\Delta T = (t_m - t_i)$: الفرق بين درجة حرارة ماء المشع الوسطية ودرجة حرارة هواء الغرفة.



كمية الحرارة المطلوبة في المكان المدفأ

$$\sum Q = A \times U \times (t_i - t_0)$$

كمية الحرارة التي يعطيها وسيط التسخين

$$\sum Q = M \times C_w \times (t_1 - t_2)$$

كمية الحرارة التي يعطيها المبادل الحراري

$$\sum Q = A \times U_r \times (t_m - t_i)$$

Q - كمية الحرارة الضائعة من المكان

t_1 - درجة حرارة وسيط التسخين الداخل للمشع

t_2 - درجة حرارة وسيط التسخين الخارج من المشع

t_m - درجة الحرارة الوسطية لسطح المشع وتساوي

$$t_{av} = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

بفرض أن

$$t_1 = 90\,^{\circ}C \;\&\; t_2 = 70\,^{\circ}C$$

فإنّ t_m تساوي :

$$t_m = 80\,^{\circ}C$$

حسب المكان المراد تدفئته نعتمد درجة الحرارة الداخلية t_i للمكان المدفأ، وتكون حسب طبيعة المكان وتتراوح من 15°C درجة مئوية في الصالات الرياضية و المعامل إلى 18°C درجة في المداخل و الممرات و 20°C درجة مئوية في المكاتب و المنازل، وتصل إلى 25°C درجة مئوية في الحمامات.

كي يتحقق التوازن يجب أن تتساوى كمية الحرارة التي يعطيها المبادل الحراري مع كمية الحرارة التي يعطيها وسيط التسخين مع كمية الحرارة المطلوبة في المكان المدفأ (الحمل الحراري).

في العلاقات السابقة لدينا متغير واحد هو درجة الحرارة الخارجية t_o و نتيجة لذلك تتغير درجة الحرارة الداخلية t_i ، ولكي نثبت درجة الحرارة الداخلية علينا تغيير درجة حرارة وسيط التسخين t_1 .

- لنفرض أن لدينا حالتين :

الأولى : t_{01} , t_{i1} , t_{m1} , t_{21} , t_{11} , m_1

الثانية : t_{02} , t_{i2} , t_{m2} , t_{22} , t_{12} , m_2

نكتب العلاقة التالية من تساوي كميات الحرارة المضائعة مع الحرارة لوسيط التسخين مع كمية الحرارة من المبادل الحراري:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{m_2 \times C_{w2} \times (t_{12} - t_{22})}{m_1 \times C_{w1} \times (t_{11} - t_{21})}$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{A \times U \times (t_{i2} - t_{02})}{A \times U \times (t_{i1} - t_{01})}$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{A_{m2} \times U_{m2} \times (t_{m2} - t_{i2})}{A_{m1} \times U_{m1} \times (t_{m1} - t_{i1})}$$

يتغير معامل انتقال الحرارة للمشع مع اختلاف الشروط الحرارية حسب العلاقة التجريبية التالية:

$$\frac{U_{m2}}{U_{m1}} = \left(\frac{(t_{m2} - t_{i2})}{(t_{m1} - t_{i1})} \right)^{0.3} = \left(\frac{\Delta T_{m2}}{\Delta T_{m1}} \right)^{0.3}$$

و منه بالتعويض نحصل على العلاقة التالية للمشعات:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{A_{m2} \times U_{m2} \times (t_{m2} - t_{i2})}{A_{m1} \times U_{m1} \times (t_{m1} - t_{i1})}$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{A_{m2}}{A_{m1}} \left(\frac{(t_{m2} - t_{i2})}{(t_{m1} - t_{i1})} \right)^{1.3}$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{A_{m2}}{A_{m1}} \left(\frac{\Delta T_{m2}}{\Delta T_{m1}} \right)^{1.3}$$

وللمشع نفسه يمكن أن نكتب:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{m_2 \times (t_{12} - t_{22})}{m_1 \times (t_{11} - t_{21})} = \frac{(t_{i2} - t_{02})}{(t_{i1} - t_{01})} = \left(\frac{(t_{m2} - t_{i2})}{(t_{m1} - t_{i1})} \right)^{1.3}$$

المعادلة سمحت بإيجاد علاقة بين t_i , t_0 , t_m , t_1

مثال:

إذا كان البث الحراري لمشع يساوي $Q = 1500\ w$ عند الشروط التالية:

$$t_{11} = 90°C \quad \& \quad t_{21} = 70°C \quad \& \quad t_{i1} = 20°C$$

احسب كمية البث الحراري في كل من الحالتين التاليتين:

الحالة الجديدة الأولى:

$$t_{12} = 80°C \quad \& \quad t_{22} = 60°C \quad \& \quad t_{i2} = 20°C$$

الحالة الجديدة الثانية:

$$t_{13} = 95°C \quad \& \quad t_{23} = 75°C \quad \& \quad t_{i3} = 20°C$$

الحل:

ينتج لدينا:

$$t_{m1} = \frac{90 + 70}{2} = 80°C$$

$$t_{m2} = \frac{80 + 60}{2} = 70°C$$

$$t_{m3} = \frac{95 + 75}{2} = 85°C$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{(t_{m2} - t_{i2})}{(t_{m1} - t_{i1})}\right)^{1.3}$$

$$Q_2 = Q_1 \times \left(\frac{(t_{m2} - t_{i2})}{(t_{m1} - t_{i1})}\right)^{1.3}$$

$$Q_2 = Q_1 \times \left(\frac{(70-20)}{(80-20)}\right)^{1.3}$$

$$Q_2 = 1500 \times 0.7889 = 1183.5 \ (W)$$

$$Q_3 = Q_1 \times \left(\frac{(85-20)}{(80-20)}\right)^{1.3}$$

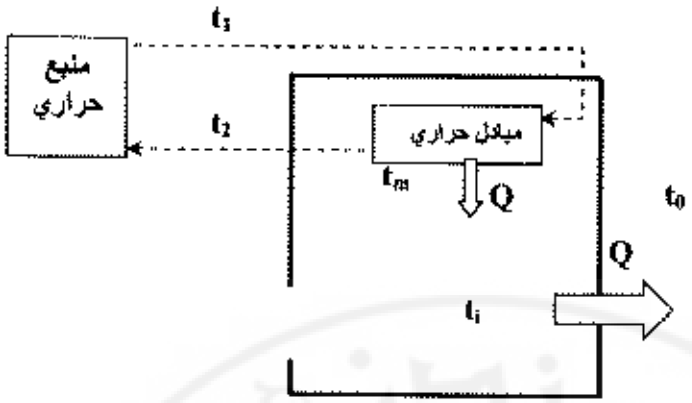
$$Q_3 = 1500 \times 1.1096 = 1664.5 \ (W)$$

مثال:

بفرض أن لدينا الحالة التصميمية المبينة في الجدول التالي وذلك لتأمين الحرارة داخل الغرفة المدفأة. مع اعتبار ثبات التدفق و ثبات درجة الحرارة الداخلية. t_i=20°C .

احسب درجة الحرارة الوسطية للمشع t_m ودرجة حرارة دخول وخروج الماء إلى المشع عندما ترتفع درجة الحرارة الخارجية لتصبح 7°C درجات مئوية، وبفرض أن ثابت المشع يساوي n = 1.3

T_{o1}	t_{i1}	t_{11}	t_{21}	t_{m1}
0 °C	20 °C	90 °C	70 °C	80 °C
T_{o2}	t_{i2}	t_{12} °C	t_{22}	t_{m2}
7 °C	20 °C	?	?	?



الحل:

$$\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{m_2\times(t_{12}-t_{22})}{m_1\times(t_{11}-t_{21})}=\frac{(t_{i2}-t_{02})}{(t_{i1}-t_{01})}=\left(\frac{(t_{m2}-t_{i2})}{(t_{m1}-t_{i1})}\right)^{1.3}$$

$$\frac{(t_{i2}-t_{02})}{(t_{i1}-t_{01})}=\left(\frac{(t_{m2}-t_{i2})}{(t_{m1}-t_{i1})}\right)^{1.3}\Rightarrow\frac{20-7}{20-0}=\left(\frac{t_{m2}-20}{80-20}\right)^{1.3}$$

$$\Rightarrow t_{m2}=63°C$$

$$\frac{(t_{12}-t_{22})}{(t_{11}-t_{21})}=\left(\frac{(t_{m2}-t_{i2})}{(t_{m1}-t_{i1})}\right)^{1.3}$$

$$\frac{(t_{12}-t_{22})}{90-70}=\left(\frac{63-20}{80-20}\right)^{1.3}\Rightarrow(t_{12}-t_{22})=13°C$$

$$(t_{12}+t_{22})=2.t_{m2}=2\times63=126°C$$

لدينا المعادلة

مما سبق ينتج:

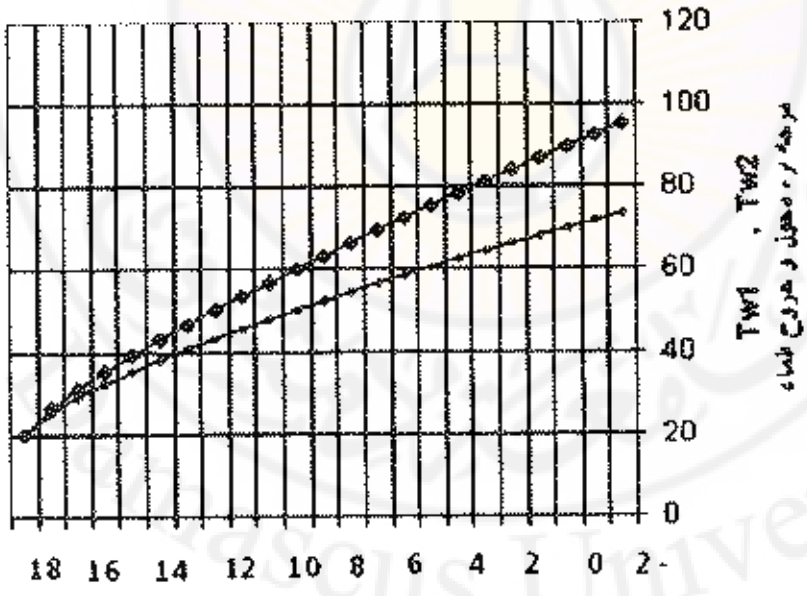
$$t_{22}=56.6°C$$

$$t_{12}=69.6°C$$

يبين الجدول التالي والشكل الذي يليه قيم درجات حرارة دخول وخروج الماء تبعا لتغير درجة حرارة الهواء الخارجية

معطيات		نتائج حسابية		
T_{02}°C	T_{i2}°C	T_{12}°C	T_{22}°C	T_{m2}°C
-2	20	95..56	73.56	84.54
0	20	90	70	80
3	20	81.45	64.45	73
5	20	75.6	60.6	68
7	20	69.6	56.6	63
10	20	60.2	50.2	55.2
13	20	50.25	43.25	46.75
16	20	39.39	35.39	37.39
18	20	31.20	29.20	30.2
20	20	20	20	20

درجة حرارة الماء المسافر كتابع لدرجة حرارة الهواء الخارجية To



درجة حرارة الهواء الخارجية To

الفصل الخامس

أنظمة الماء الساخن بضغط منخفض

Hot Water System with Low Pressure

تقسم التدفئة بالماء الساخن حسب درجة حرارة الماء الموجود في شبكة التغذية إلى:

- تدفئة بالماء الساخن بضغط منخفض حتى درجة حرارة 90°C بضغط منخفض 2bar
- تدفئة بالماء الساخن بضغط عالٍ بدرجة حرارة أعلى من 90°C و ضغط أكبر من 2bar

وتقسم بحسب حركة الماء إلى :

١. دارة تدفئة بالماء الساخن مع جريان تثاقلي Gravity Circulation

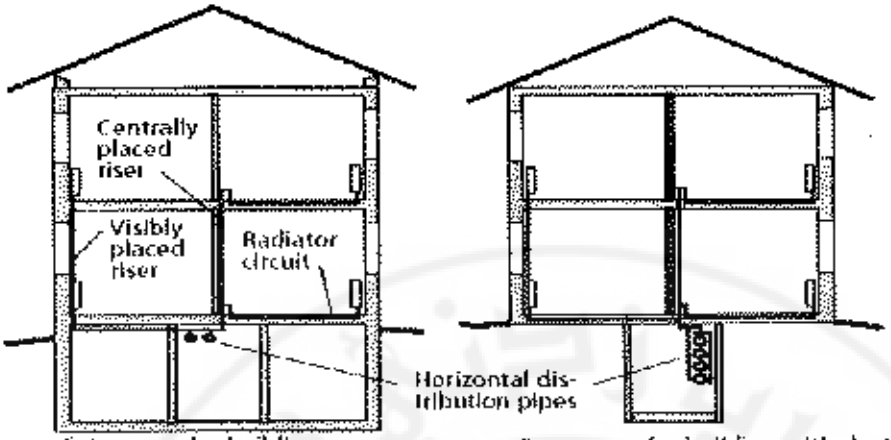
٢. دارة تدفئة بالماء الساخن مع جريان قسري (باستخدام مضخة تسريع) Forced Circulation

ملاحظة:

إن أنظمة التدفئة (ماء ساخن أو بخار) لا تزودنا بأي هواء تهوية من الخارج. لذا يتم اللجوء إلى فتح النوافذ عند الحاجة أو استخدام نظام تهوية منفصل .

٥-١ أمثلة على بعض دارات التدفئة بالماء الساخن

يبين الشكل التالي مقطعاً في بناء موضحاً فيه أنابيب شبكة التدفئة الأفقية في سقف القبو والصواعد التي تغذي المشعات في الغرف



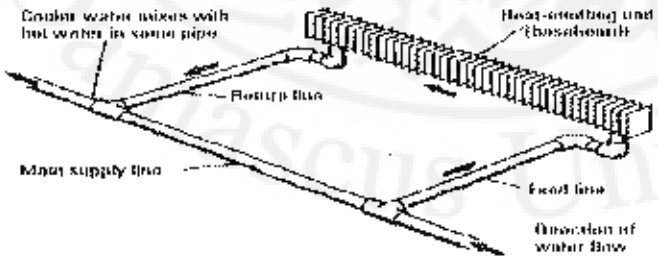
Cut away of a building

Cut away of a building with duct

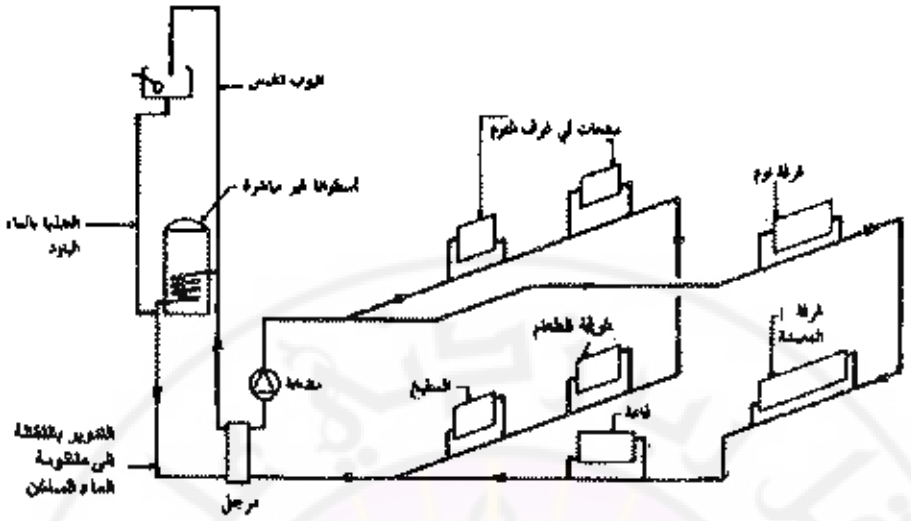
٥-٢ أنواع دارات التدفئة

٥-٢-١ شبكة مفردة :

يحتاج هذا النظام إلى أنبوب وحيد يقوم بتغذية المشعات بالماء الساخن وبإعادة الماء إلى المرجل. ويسمح هذا النظام باستخدام شبكة أنابيب ذات أقطار متساوية، ويمتاز على نظام التوزيع ذي الشبكة المزدوجة بكلفة تأسيسية أقل في أغلب الأحيان، كما أن مشاكل تنظيم الماء أبسط . إلا أن لهذا النظام بعض العيوب حيث إنه يحتاج إلى مضخة ذات ضغط أعلى مما يحتاجه نظام الشبكة المزدوجة من أجل الحمل الحراري نفسه، ولا ينصح باستعمال هذا النظام في المنشآت الكبيرة التي يزيد عدد المشعات فيها عن عشرة تقريباً .



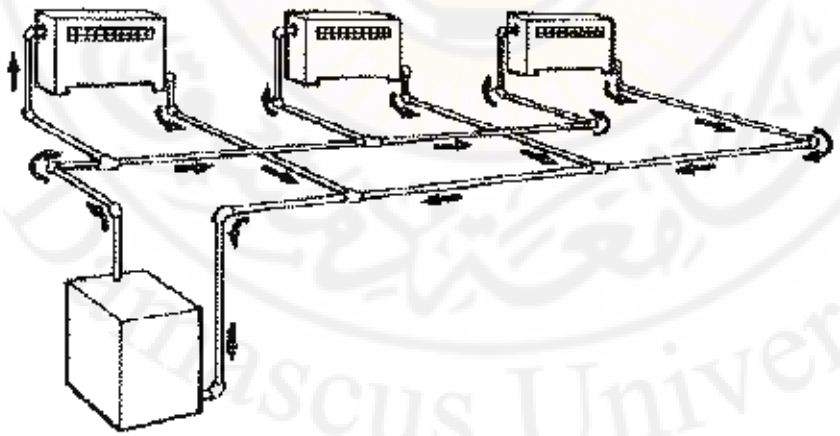
شبكة بأنبوب واحد



شبكة بأنبوب واحد مع توضع خزان التمدد و أسطوانة الماء الساخن

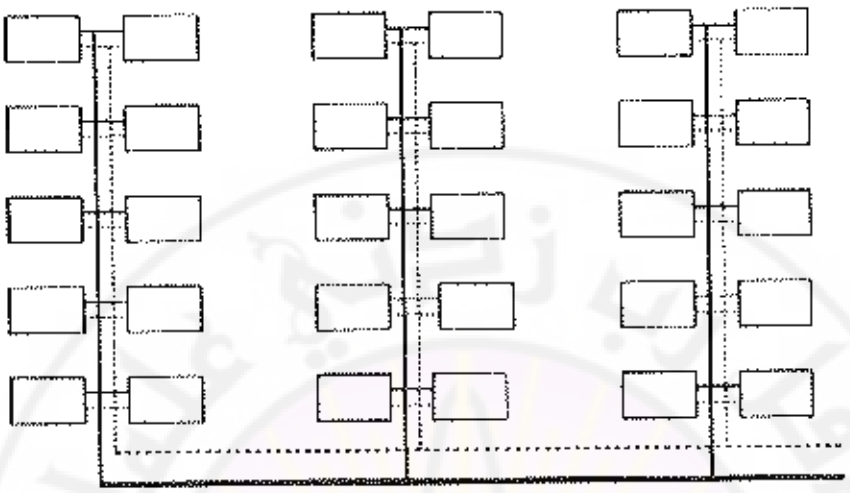
٢-٢-٥ شبكة مزدوجة :

في هذه الدارة يغذي الماء المشعات بواسطة أنابيب تغذية ويعود الماء إلى المرجل بواسطة أنابيب عودة مستقلة عن أنابيب التغذية



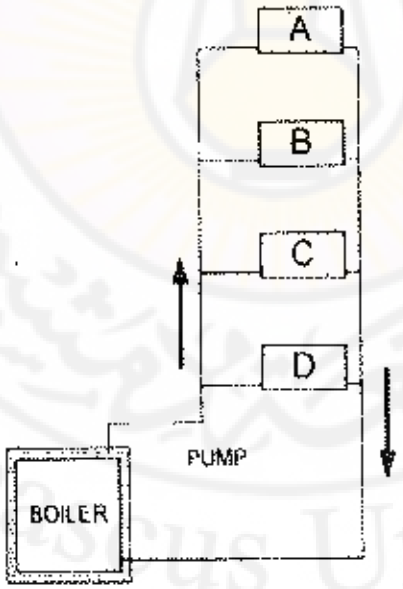
شبكة بأنبوبين

يبين الشكل شبكة تدفئة متعددة الصواعد :

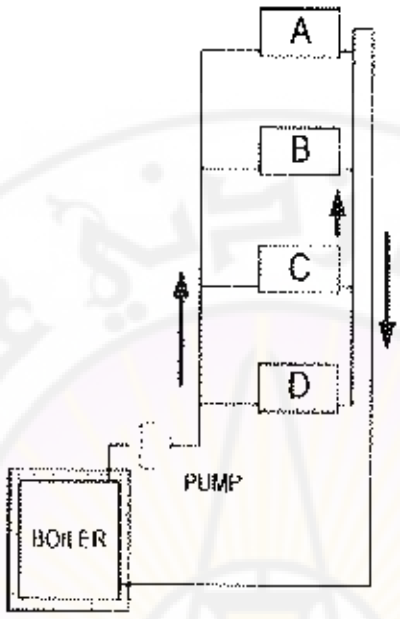


وحسب عودة الماء إلى المرجل نميز بين نوعين من الشبكات المزدوجة :

- شبكة التوزيع المزدوجة ذات العودة المباشرة :



- شبكة التوزيع المزدوجة ذات العودة المعكوسة



٥-٣ حساب أقطار الأنابيب في شبكات التدفئة بالماء الساخن:

يتم الحساب لأقطار الأنابيب على مرحلتين:

٥-٣-١ الحسابات الأولية:

وتشمل على طريقتين:

١. **طريقة أولى :**

حيث يلزم لتحديد قطر الأنبوب معرفة مقدار هبوط الضغط للأنبوب ولحساب كمية التدفق في الأنبوب يجب تحديد الحمل الحراري المطلوب للمشع، والحمل الحراري الناتج عن البث أو الضياع الحراري من الأنابيب، وبما أن البث الحراري متعلق بقطر الأنبوب فلا بد من فرض نسبة معينة من كمية الحرارة لاعتبار هذا

الضياع، وتؤخذ عادة في المجال (10% - 30%) من مجمل البث الحراري من الوحدات ويتوقف على نوعية الأنبوب وفيما إذا كان معزولا أو غير معزول.
يجمع البث الحراري مع الحمل الحراري للأنبوب، ومن ثم تحدد كمية التدفق في هذا الأنبوب. ومن معرفة التدفق المحسوب لكل فرع وباعتماد معدل انخفاض الضغط في الأنابيب بين $(300\ Pa - 100\ Pa)$ يمكن اختيار أقطار الأنابيب من الجداول $C4-12$ مرجع (IHVE-C.4 -1977) للأنابيب الفولاذية متوسطة الدرجة حيث تمثل الرموز التالي في الجدول المذكور : M التدفق (kg/s) و le الطول المكافئ للضياعات المكانية بواحد (m) و ΔP ضياع الضغط في الأنبوب (Pa/m) و (v) سرعة الجريان ضمن الأنبوب m/s

٢. **طريقة ثانية:**

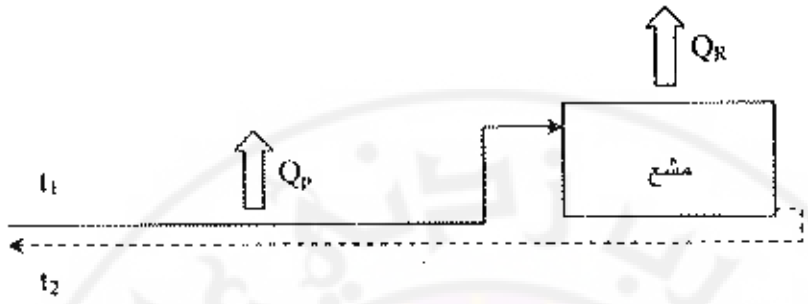
نستطيع إهمال الضياع الحراري من الأنابيب في الحسابات الأولية أثناء تحديد أقطار الأنابيب بشرط اعتماد معدل انخفاض الضغط في الأنابيب بين $(140Pa - 100Pa)$، وبعد تحديد الأقطار نحسب الضياع الحقيقي من الأنابيب ونضيفه لحمل المشعات، ثم نحسب التدفق الجديد ونحدد الضياع الفعلي باعتماد قيمة التدفق الجديدة والقطر المحدد سابقا، حيث يجب أن يلاحظ معدل ضياع الضغط الجديد المحسوبة بهذه الطريقة يبقى ضمن المجال المسموح به وهو $(300Pa - 100Pa)$

٥ـ ٤ معدل تدفق الماء في شبكة التدفئة:

إذا كانت كمية الحرارة التي يبثها المشع تساوي Q_R و كمية الحرارة التي تبثها الأنابيب تساوي Q_p وفرق درجات الحرارة بين الأنبوب الذاهب و الأنبوب

الراجع تساوي $\Delta T = t_1 - t_2$ والسعة الحرارية للماء تساوي

$$C_w = 4180 \quad J / kg \cdot °C$$



فتكون كمية الماء المتدفق في الدارة مساوية لـ M

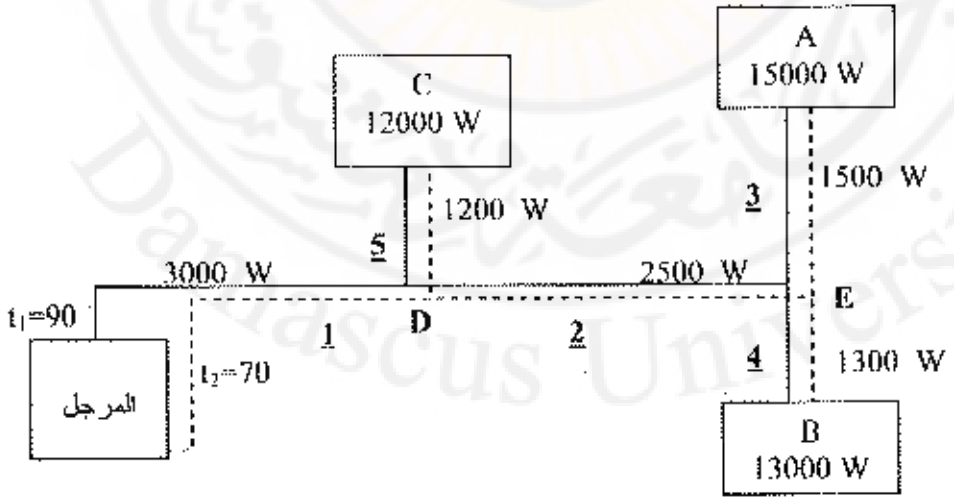
$$M = \frac{Q}{C_w \times \Delta T} \quad (kg/s)$$

حيث الحرارة الكلية تساوي

$$Q = Q_R + Q_P \quad (W)$$

ولتوضيح طريقة الحساب نأخذ المثال التالي الذي يبين دارة وحدات تدفئة مع شبكة الأنابيب:

قيم البث الحراري لكل جزء من الدارة مبينة على الشكل:



بالجمع نحصل على البث الحراري الكلي في وحدات التدفئة من A إلى C ويساوي إلى

$$Q_R = 15000+13000+12000 = 40000\ W$$

و بالجمع نحصل أيضا على البث الحراري الكلي للأنابيب من 1 إلى 5

$$Q_P = 1500+1300+1200+2500+3000 = 9500\ W$$

نفرض $\Delta T = t_1 - t_2 = 20°C$

نحسب تدفق الماء الكلي اللازمة للشبكة حيث :

$$M_1 = \frac{Q}{C \times \Delta T} = \frac{40000 + 9500}{4180 \times 20} = 0.592\ \ kg/s$$

لمعرفة التدفق في كل فرع يمكن اتباع إحدى الطريقتين:

١. بحساب فرق درجات الحرارة في كل نقطة من الشبكة.

٢. بتوزيع التدفق الكلي على الدارة بنسبة أحمال كل فرع منها.

الطريقة الأولى:

كمية الماء المجددة ستمر في الأنبوب رقم 1 و ستنخفض درجة حرارتها نتيجة البث الحراري من الأنبوب (1) و قدره 3000 W وبذلك ستنخفض الحرارة بمقدار :

$$\Delta T = \frac{Q}{C \times M} = \frac{3000}{4180 \times 0.592} = 1.21°C$$

أي أن فرق درجات الحرارة في النقطة D يساوي:

$$\Delta T_D = 20 - 1.21 = 18.79°C$$

كمية الحرارة في الأنبوب (5) تساوي W 13200 وبذلك يكون التدفق في الأنبوب رقم (5) مساوياً:

$$M_5 = \frac{Q}{C \times \Delta T} = \frac{13200}{4180 \times 18.79} = 0.168\ kg/s$$

وسيبقى في الأنبوب رقم (2) كمية من الماء تساوي إلى الفرق

$$M_2 = M_1 - M_5 = 0..592 - 0.168 = 0.424\ kg/s$$

نتيجة الضياع في الأنبوب (2) سينخفض فرق درجات الحرارة في النقطة (E) عما كان في النقطة (D) بمقدار:

$$\Delta T = \frac{Q}{C \times M} = \frac{2500}{4180 \times 0.424} = 1.41°C$$

فيكون فرق درجات الحرارة في النقطة (E) مساويا

$$\Delta T_E = 18.79 - 1.41 = 17.38\ °C$$

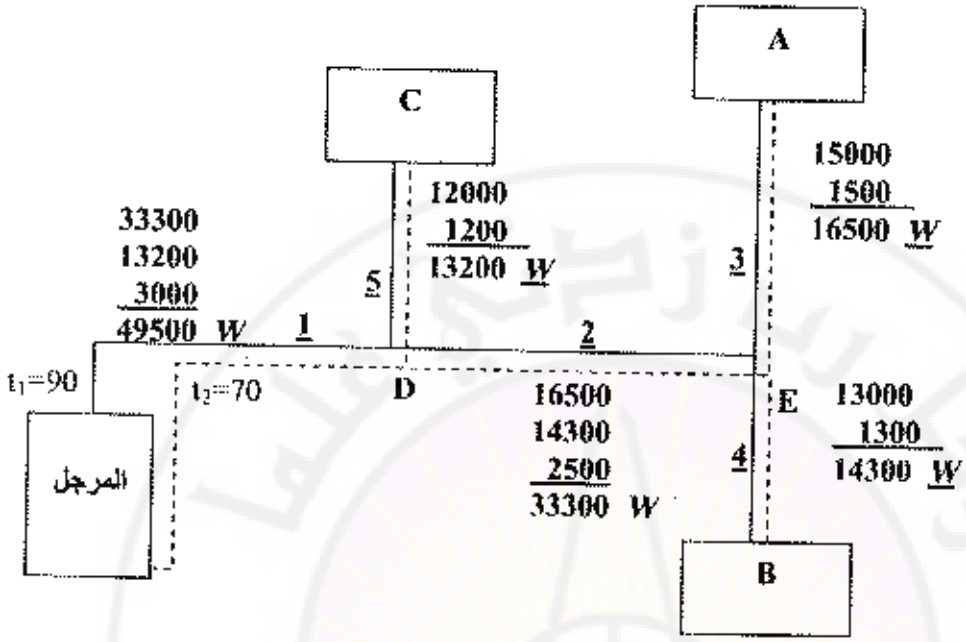
الحمل الحراري على الأنبوب رقم (3) يساوي W 16500 وبذلك يكون التدفق في الأنبوب رقم (3) مساويا :

$$M_3 = \frac{Q}{C \times \Delta T} = \frac{16500}{4180 \times 17.38} = 0.227\ kg/s$$

وسيبقى في الأنبوب رقم (4) كمية من الماء تساوي إلى الفرق بينهما:

$$M_4 = M_2 - M_3 = 0.424 - 0.227 = 0.197\ kg/s$$

الطريقة الثانية (وهي المتبعة عملياً):



يمكن إجراء هذه الحسابات للحصول على قيمة التدفق بطريقة أسهل، علما بأن المبدأ واحد، ولنأخذ المثال السابق حيث نرتب الأحمال الحرارية لكل أنبوب والتي تساوي (حمل المشع أو المشعات التي يغذيها الأنبوب مضافاً إليها الضياع الحراري من الأنبوب) :

بعد حساب التدفق الكلي والمساوي لحاصل قسمة الحمل الكلي W 49500 على $((90 - 70) \times 4180)$ أي :

$$M_1 = \frac{Q}{C_w \times \Delta T} = \frac{49500}{4180 \times 20} = 0.592 \quad kg/s$$

نحسب تدفق الماء في الأنبوب (2) من نسبة الأحمال الحرارية، حيث تقسم كمية الماء الكلية على الحمل الحراري الكلي في النقطة (D) ونضرب هذه النسبة بحمل الفرع المراد حساب كمية التدفق فيه وذلك كما يلي:

$$M_2 = M_1 \times \frac{Q_2}{Q_2 + Q_5}$$

$$M_2 = 0.592 \times \frac{33300}{33300 + 13200} = 0.424 \ kg/s$$

$$M_5 = M_1 \times \frac{Q_5}{Q_2 + Q_5}$$

$$M_5 = 0.592 \times \frac{13200}{33300 + 13200} = 0.168 \ kg/s$$

ثم نحسب تدفق الماء في الأنبوب (3) و (4)، وذلك بتقسيم كمية الماء في الفرع (2) على الحمل الحراري الكلي في النقطة (E)، ونضرب هذه النسبة بحمل الفرع المراد حساب كمية التدفق فيه كما يلي:

$$M_3 = M_2 \times \frac{Q_3}{Q_3 + Q_4}$$

$$M_3 = 0.424 \times \frac{16500}{14300 + 16500} = 0.227 \ kg/s$$

$$M_4 = M_2 \times \frac{Q_4}{Q_3 + Q_4}$$

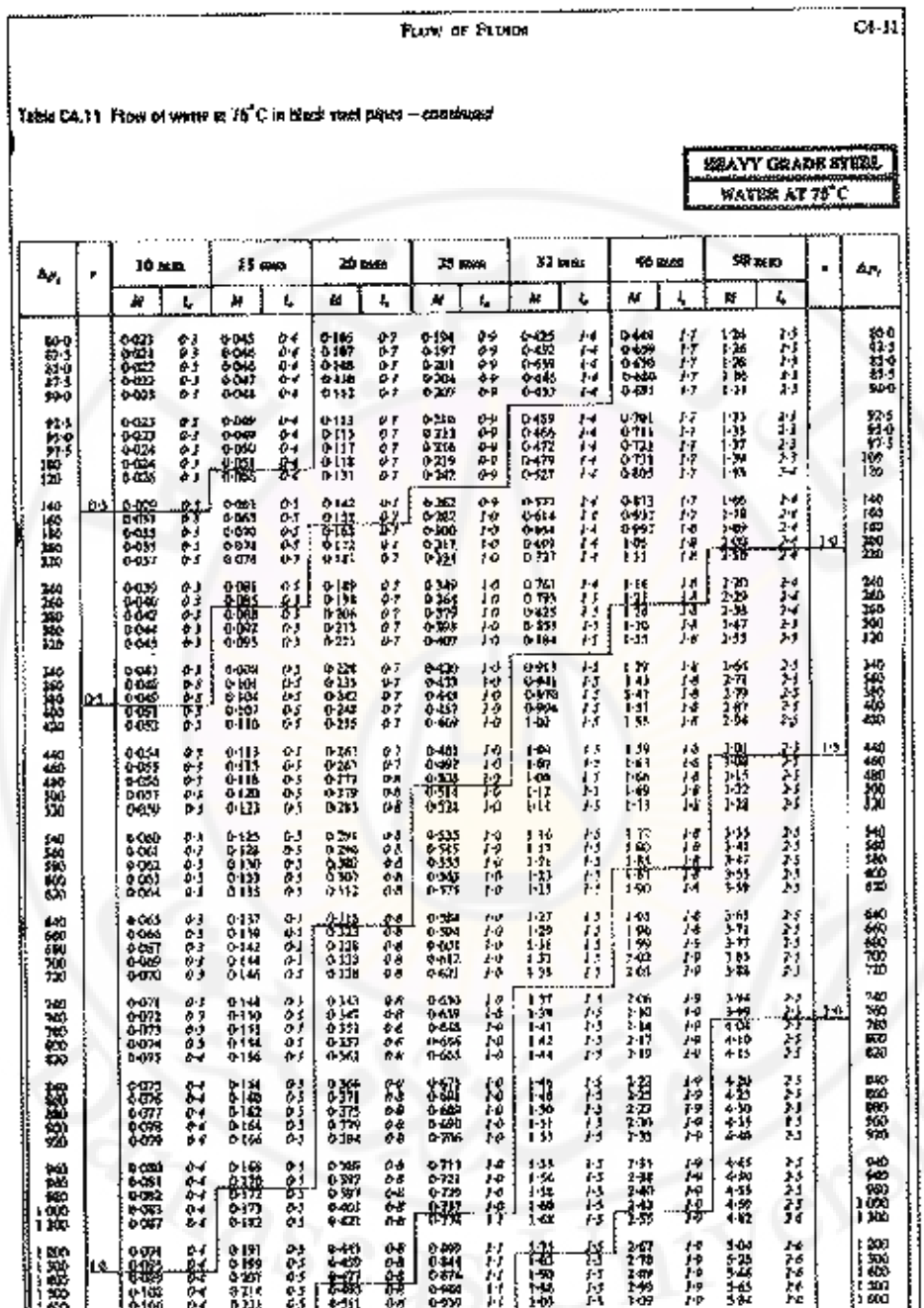
$$M_4 = 0.424 \times \frac{14300}{14300 + 16500} = 0.197 \ kg/s$$

يمكن الآن اختيار أقطار الأنابيب للمثال السابق من الجدول C4.12 مرجع IHVE من معرفة التدفق المحسوب لكل فرع بعد معرفة معدل انخفاض الضغط في الأنبوب والذي يؤخذ في المجال 100Pa/m - 300Pa/m والنتائج كما في الجدول التالي:

البث الحراري من الأنبوب W	الطول المكافئ l_e	انخفاض الضغط الحقيقي P_a/m	القطر mm	التدفق kg/s	طول الأنبوب الذاهب m	رقم الأنبوب
125	1.5	120	32	0.592	8	1
102	1.1	260	25	0.424	7	2
84	0.8	260	20	0.227	4.25	3
84	0.8	200	20	0.197	3	4
84	0.8	140	20	0.168	5	5

Damascus University

جدول اختيار الأنابيب الفولاذية للماء الساخن عند درجة حرارة 75°C

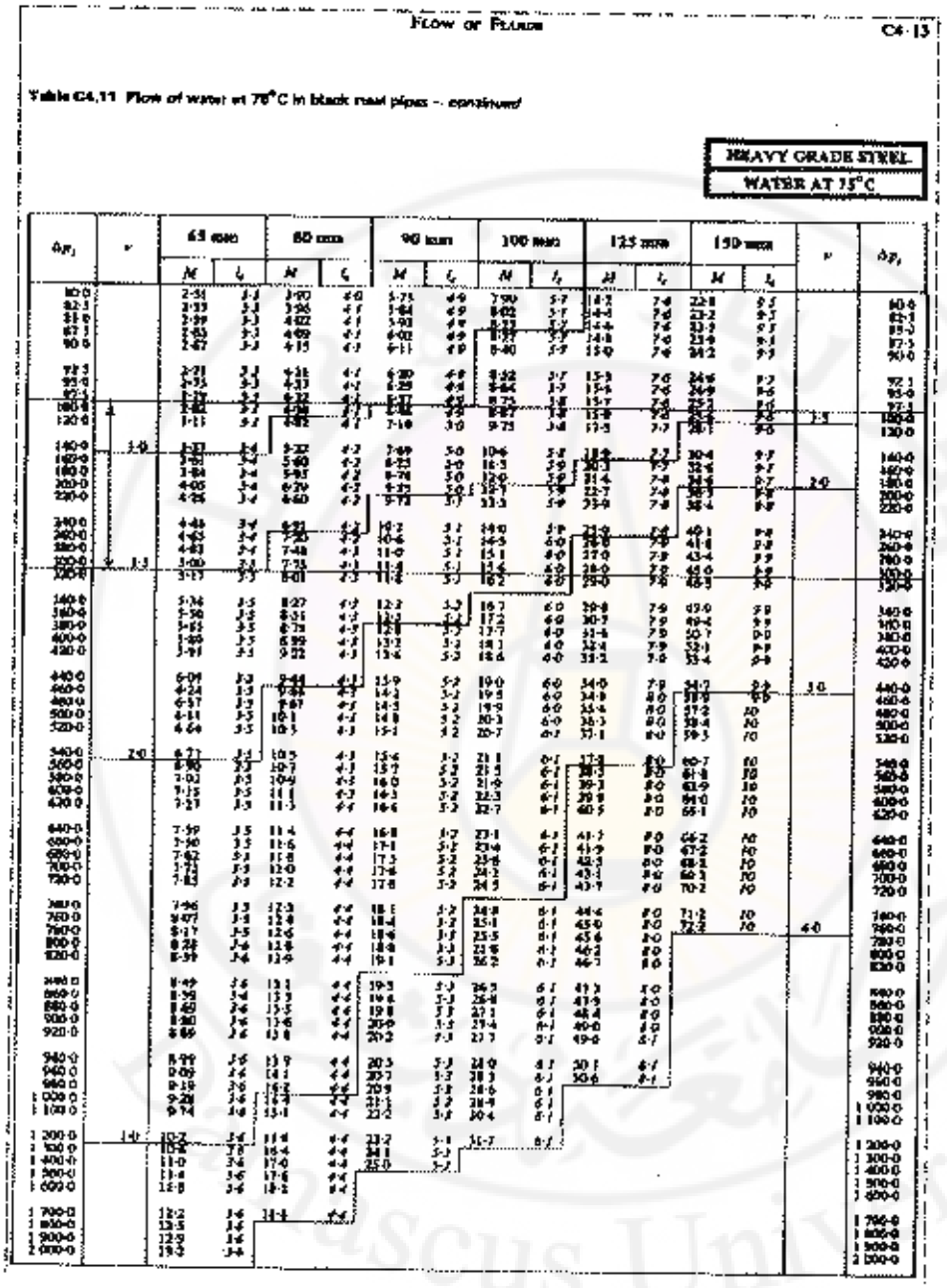


FLOW OF FLUIDS

Table C4.11 Flow of water at 75°C in black steel pipes – continued

HEAVY GRADE STEEL
WATER AT 75°C

تتمة جدول اختيار الأنابيب الفولاذية للماء الساخن عند درجة حرارة 75°C



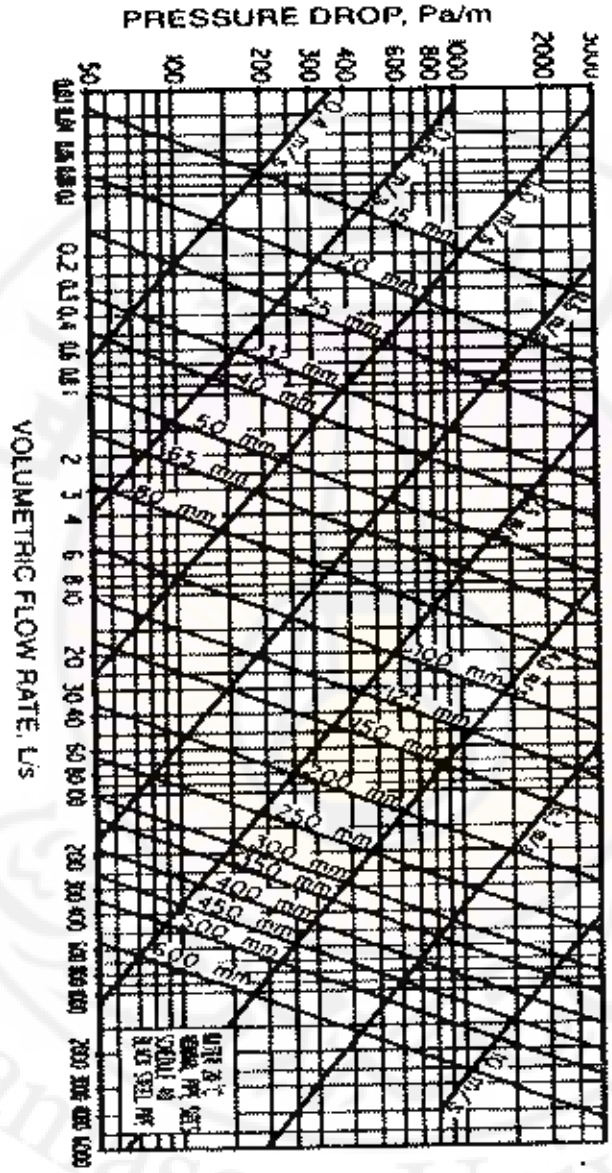
FLOW OF FLUIDS C4·15

Table C4.11 Flow of water at 75°C in black steel pipes – continued

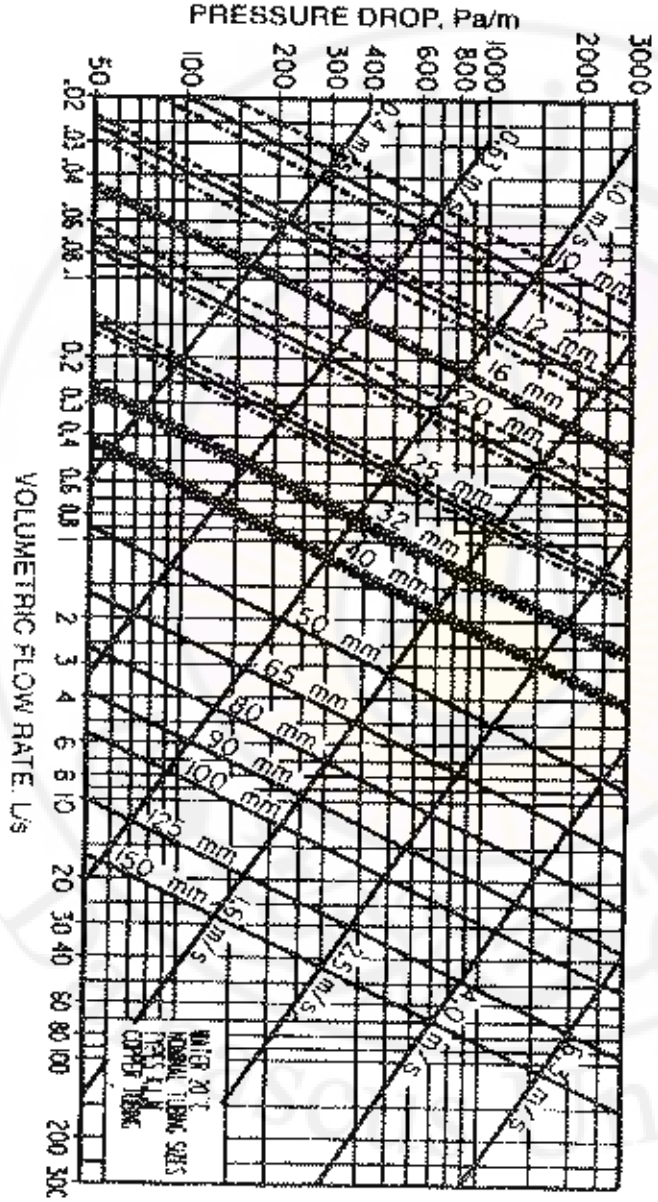
HEAVY GRADE STEEL
WATER AT 75°C

Δp_f	v	65 mm		80 mm		90 mm		100 mm		125 mm		150 mm		v	Δp_f
		M	l_s	M	l_s	M	l_s	M	l_s	M	l_s	M	l_s		
100		2·51	33	3·70	46	5·25	59	7·20	77	12·2	74	22·8	97		100
120		2·93	33	4·26	47	5·94	59	8·02	77	13·5	74	23·2	97		120
140		3·39	33	4·82	47	6·68	59	8·93	77	14·4	74	23·2	97		140
160		3·85	33	4·89	47	6·82	59	9·11	77	14·8	74	23·6	97		160
180		4·32	33	4·15	47	6·11	59	9·40	77	15·0	74	24·2	97		180
200		4·79	33	4·41	47	6·49	59	9·98	77	15·3	74	24·6	97		200
220		5·27	33	4·68	47	6·88	59	10·6	77	15·6	74	24·9	97		220
240		5·75	33	4·94	47	7·28	59	11·2	77	15·9	74	25·3	97		240
260		6·24	33	5·21	47	7·68	59	11·8	77	16·2	74	25·7	97		260
280		6·73	33	5·48	47	8·08	59	12·4	77	16·5	74	26·1	97		280
300		7·23	33	5·75	47	8·48	59	13·0	77	16·7	74	26·5	97		300
320		7·73	33	6·02	47	8·89	59	13·7	77	17·0	74	26·9	97		320
340		8·24	33	6·29	47	9·30	59	14·3	77	17·3	74	27·3	97		340
360		8·75	33	6·57	47	9·71	59	14·9	77	17·6	74	27·7	97		360
380		9·27	33	6·84	47	10·1	59	15·6	77	17·9	74	28·1	97		380
400		9·79	33	7·12	47	10·6	59	16·2	77	18·2	74	28·5	97		400
420		10·3	33	7·40	47	11·0	59	16·9	77	18·5	74	28·9	97		420
440		10·8	33	7·68	47	11·4	59	17·5	77	18·8	74	29·3	97		440
460		11·4	33	7·96	47	11·8	59	18·2	77	19·1	74	29·7	97		460
480		11·9	33	8·24	47	12·2	59	18·8	77	19·4	74	30·1	97		480
500		12·5	33	8·52	47	12·6	59	19·5	77	19·7	74	30·5	97		500
520		13·0	33	8·81	47	13·0	59	20·1	77	20·0	74	30·9	97		520
540		13·6	33	9·09	47	13·4	59	20·8	77	20·3	74	31·3	97		540
560		14·2	33	9·38	47	13·8	59	21·5	77	20·6	74	31·7	97		560
580		14·7	33	9·67	47	14·2	59	22·1	77	20·9	74	32·1	97		580
600		15·3	33	9·96	47	14·6	59	22·8	77	21·2	74	32·5	97		600
620		15·9	33	10·2	47	15·0	59	23·5	77	21·5	74	32·9	97		620
640		16·5	33	10·5	47	15·4	59	24·1	77	21·8	74	33·3	97		640
660		17·1	33	10·8	47	15·8	59	24·8	77	22·1	74	33·7	97		660
680		17·7	33	11·1	47	16·2	59	25·5	77	22·4	74	34·1	97		680
700		18·3	33	11·4	47	16·6	59	26·1	77	22·7	74	34·5	97		700
720		18·9	33	11·7	47	17·0	59	26·8	77	23·0	74	34·9	97		720
740		19·5	33	12·0	47	17·4	59	27·5	77	23·3	74	35·3	97		740
760		20·1	33	12·3	47	17·8	59	28·2	77	23·6	74	35·7	97		760
780		20·7	33	12·6	47	18·2	59	28·8	77	23·9	74	36·1	97		780
800		21·3	33	12·9	47	18·6	59	29·5	77	24·2	74	36·5	97		800
820		21·9	33	13·2	47	19·0	59	30·2	77	24·5	74	36·9	97		820
840		22·5	33	13·5	47	19·4	59	30·9	77	24·8	74	37·3	97		840
860		23·1	33	13·8	47	19·8	59	31·5	77	25·1	74	37·7	97		860
880		23·7	33	14·1	47	20·2	59	32·2	77	25·4	74	38·1	97		880
900		24·3	33	14·4	47	20·6	59	32·9	77	25·7	74	38·5	97		900
920		24·9	33	14·7	47	21·0	59	33·6	77	26·0	74	38·9	97		920
940		25·5	33	15·0	47	21·4	59	34·2	77	26·3	74	39·3	97		940
960		26·1	33	15·3	47	21·8	59	34·9	77	26·6	74	39·7	97		960
980		26·7	33	15·6	47	22·2	59	35·6	77	26·9	74	40·1	97		980
1 000		27·3	33	15·9	47	22·6	59	36·3	77	27·2	74	40·5	97		1 000
1 100		30·4	33	17·4	47	24·7	59	39·7	77	28·8	74	42·5	97		1 100
1 200	1·0	33·5	33	19·1	47	26·7	59	43·2	77	30·4	74	44·5	97	1·5	1 200
1 300		36·6	33	20·8	47	28·8	59	46·7	77	32·0	74	46·5	97		1 300
1 400		39·7	33	22·5	47	30·9	59	50·2	77	33·6	74	48·5	97		1 400
1 500		42·8	33	24·2	47	33·0	59	53·7	77	35·2	74	50·5	97		1 500
1 600		45·9	33	25·9	47	35·1	59	57·2	77	36·8	74	52·5	97		1 600
1 700		49·0	33	27·6	47	37·2	59	60·7	77	38·4	74	54·5	97		1 700
1 800		52·1	33	29·3	47	39·3	59	64·2	77	40·0	74	56·5	97		1 800
1 900		55·2	33	31·0	47	41·4	59	67·7	77	41·6	74	58·5	97		1 900
2 000		58·3	33	32·7	47	43·5	59	71·2	77	43·2	74	60·5	97		2 000

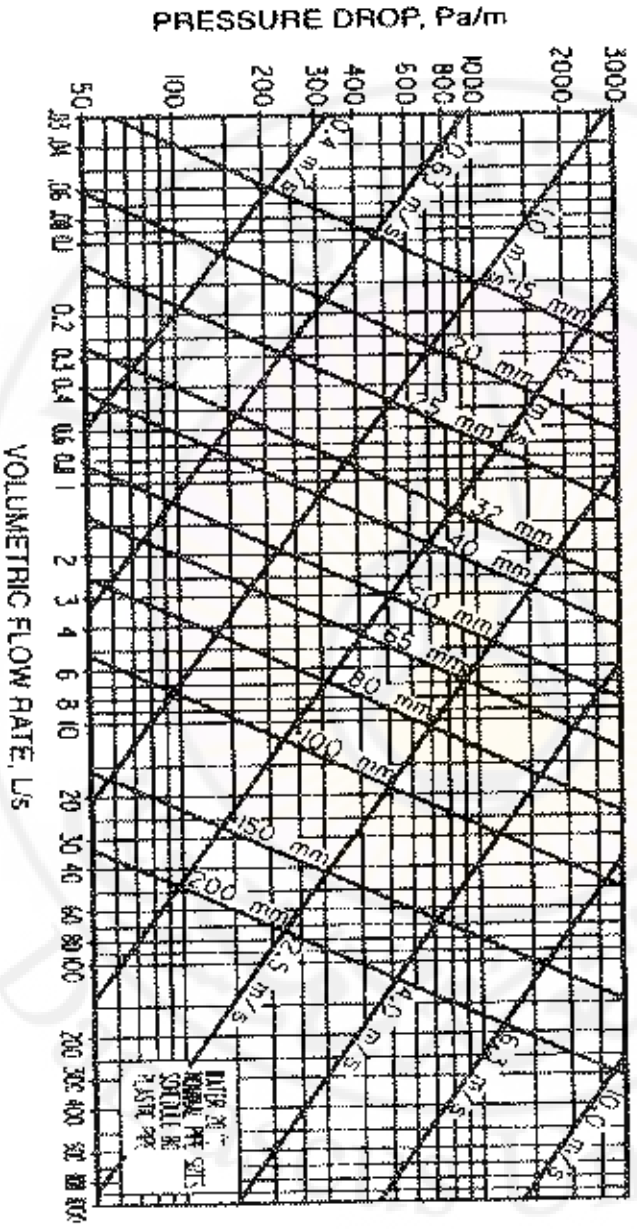
مخطط لتحديد أقطار الأنابيب الفولاذية التجارية درجة (40) عند درجة حرارة 20°C



مخطط لتحديد أقطار الأنابيب النحاسية عند درجة حرارة 20°C



مخطط لتحديد أقطار الأنابيب البلاستيكية درجة (80) عند درجة حرارة 20°C



٥-٥ الحسابات النهائية:

الغاية منها تحديد التدفقات الحقيقة و انخفاض الضغط الحقيقي في الأنابيب، و ذلك لتحديد استطاعة المضخة المطلوبة:

١. حساب البث الحراري الصحيح من الأنابيب بدلالة القطر ودرجة الحرارة، تضاف هذه الكميات إلى الحمل الحراري من وحدات التدفئة للحصول على الحمل الحراري الكلي المطلوب من المنبع

٢. حساب التدفق الجديد للماء استنادا إلى البث الحراري المحسوب للأنابيب

٣. استعمال التدفق الجديد والأقطار المحددة سابقا لتحديد انخفاض الضغط الجديد الموافق من الجداول.

٤. إيجاد الطول المكافئ لكل المقاومات المحلية و حساب انخفاض الضغط الكلي في الدارة الأبعد.

٥. حساب أقطار الأنابيب في الدارات الأخرى بحيث يكون لها الضغط التحريكي الكلي للدارة الأبعد نفسه.

البث الحراري من الأنابيب يحدد من الجدول C3.14 مرجع - (IHVE-C.3 1977) . في حال كانت الأنابيب غير معزولة وذلك استنادا إلى الفرق في درجات الحرارة بين الماء في الأنبوب والوسط المحيط بالأنبوب غير المعزول حيث $\Delta T = 80 - 20 = 60\ ^\circ C$ وتكون القيم كما في الجدول التالي.

القطر D	mm	20	25	32
البث الحراري Q	W/m	84	102	125

جدول (C3.14)

جدول البث الحراري للانابيب الفولاذية غير المعزوله :

Table C3.14. Heat emission from single horizontal steel pipes ($\epsilon = 0.95$) freely exposed in surroundings at 20 °C.

Temp. diff. between surface and surroundings °C	Heat emission (W/m)														
	Pipe nominal size* mm														
	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400
−15	−12	−15	−18	−22	−24	−29	−36	−41	−52	−62	−71	−92	−112	−130	−142	−160
−10	−7.7	−9.4	−11	−14	−16	−19	−23	−27	−33	−40	−46	−60	−73	−85	−92	−104
−5	−3.5	−4.3	−5.3	−6.5	−7.3	−8.9	−11	−13	−16	−19	−22	−28	−35	−40	−44	−50
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	3.6	4.5	5.5	6.7	7.5	9.1	11	13	16	19	23	29	36	42	46	52
10	8.1	9.8	12	15	16	20	25	28	35	42	49	63	77	90	98	111
15	13	16	19	23	26	32	39	45	56	67	78	100	123	143	156	176
20	18	22	27	33	37	45	55	63	78	94	109	140	171	199	217	245
25	24	29	35	43	48	58	71	81	102	122	141	182	221	258	281	317
30	29	35	44	53	60	72	88	101	126	151	175	226	275	320	348	393
35	35	43	53	64	72	87	106	122	152	182	211	272	331	385	419	473
40	42	51	62	75	84	102	123	143	179	214	248	319	389	453	493	556
45	48	59	71	87	98	118	145	166	207	247	287	369	451	524	570	642
50	55	67	81	99	111	135	165	189	236	281	327	421	512	597	649	732
55	62	75	92	112	125	152	186	213	266	317	368	474	577	673	732	825
60	69	84	102	124	140	169	207	238	297	356	411	529	644	751	817	921
65	77	93	114	138	155	188	230	263	329	392	456	586	714	832	905	1020
70	84	103	125	152	170	206	253	290	362	432	502	646	786	916	997	1120
75	92	112	137	167	186	226	277	317	396	473	549	705	858	1000	1090	1230
80	100	122	149	181	203	246	301	345	431	515	598	769	937	1090	1190	1340
100	135	164	200	244	273	331	406	466	582	695	808	1040	1270	1480	1610	1820
120	173	211	257	314	352	427	523	600	750	897	1040	1340	1640	1910	2080	2350
140	215	262	320	391	438	532	653	750	937	1120	1310	1680	2050	2400	2610	2950
160	261	318	389	476	534	648	796	915	1140	1370	1600	2060	2520	2940	3200	3620
180	311	380	465	569	638	776	954	1100	1370	1650	1920	2480	3030	3540	3860	4360
200	366	447	549	672	753	916	1130	1300	1620	1950	2270	2940	3610	4220	4590	5190
220	425	520	637	781	878	1070	1320	1510	1900	2280	2660	3450	4240	4950	5380	6090
240	490	600	735	902	1010	1240	1520	1750	2200	2650	3090	4000	4910	5740	6240	7060
260	560	686	842	1030	1160	1420	1750	2010	2530	3040	3550	4610	5670	6620	7220	8180
280	635	780	957	1180	1320	1620	2000	2300	2890	3480	4060	5280	6490	7590	8280	9380
300	717	881	1080	1330	1500	1830	2260	2610	3280	3950	4620	6010	7390	8650	9440	10700
320	806	990	1220	1500	1690	2060	2550	2940	3710	4470	5230	6800	8370	9800	10700	12100

*These pipe sizes are to BS 1387: 1967 and BS 3600: 1973

في حال عزل الأنابيب نستخدم الجدول (IHVE-C.3-1977) C3.20

Table C3.20. Heat emission or absorption from insulated steel pipes.

Nominal pipe diameter	Heat emission or absorption from insulated pipes in kJ/(h·m) per °C temperature difference for given values of insulation thickness and k_{ins} kJ/(h·m·K)														
	0.043					0.053					0.070				
	Thickness of insulation in mm														
	12.5	19	25	38	50	12.5	19	25	38	50	12.5	19	25	38	50
15	0.27	0.22	0.19	0.16	0.14	0.34	0.29	0.25	0.21	0.19	0.41	0.35	0.31	0.27	0.24
20	0.31	0.25	0.22	0.18	0.16	0.40	0.33	0.29	0.24	0.21	0.47	0.40	0.36	0.30	0.26
25	0.36	0.29	0.25	0.20	0.18	0.47	0.38	0.33	0.27	0.24	0.56	0.46	0.41	0.34	0.30
32	0.41	0.34	0.29	0.23	0.20	0.55	0.45	0.39	0.31	0.27	0.65	0.54	0.47	0.38	0.34
40	0.45	0.37	0.32	0.25	0.23	0.61	0.49	0.42	0.33	0.29	0.72	0.59	0.52	0.42	0.36
50	0.51	0.44	0.37	0.29	0.24	0.71	0.58	0.49	0.39	0.33	0.86	0.70	0.60	0.48	0.41
65	0.60	0.51	0.44	0.34	0.29	0.83	0.69	0.58	0.45	0.38	1.02	0.83	0.71	0.56	0.48
80	0.70	0.60	0.50	0.38	0.32	1.0	0.78	0.66	0.50	0.43	1.19	0.94	0.80	0.63	0.53
100	0.86	0.74	0.61	0.45	0.38	1.25	0.96	0.80	0.61	0.51	1.47	1.16	0.98	0.75	0.63
125	1.10	0.88	0.72	0.53	0.46	1.49	1.14	0.95	0.71	0.59	1.76	1.38	1.16	0.88	0.73
150	1.27	1.02	0.83	0.61	0.50	1.74	1.32	1.09	0.81	0.67	2.05	1.59	1.33	1.01	0.84
200	1.58	1.32	1.07	0.77	0.63	2.26	1.70	1.40	1.03	0.84	2.66	2.05	1.71	1.27	1.05
250	2.19	1.61	1.30	0.94	0.75	2.77	2.09	1.71	1.25	1.01	3.20	2.51	2.08	1.51	1.24
300	2.58	1.89	1.51	1.09	0.87	3.26	2.44	2.00	1.45	1.17	3.84	2.94	2.48	1.79	1.46

Note: The pipe sizes are to BS 1387 and BS 3600. It is assumed that the outside surface of the insulation has been painted, so its surface resistance is 0.11 m²·K/W at 20°C and k_{ins} = 10 W/m²·K.

فرق درجات الحرارة $\Delta T = 80 - 20 = 60°C$ بين الماء في الأنبوب و الوسط المحيط بالأنبوب بفرض سماكة عزل 19 mm و معامل انتقال حراري $\lambda = 0.04\ W/m°C$

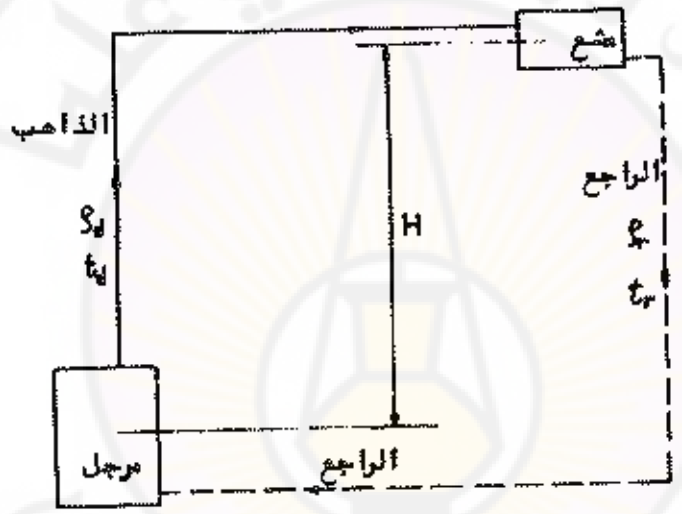
D	mm	32	25	20
q	W/°C	0.29	0.25	0.22
Q	W	17.4	15	13.2

لتحقيق التوازن بين الدارات المختلفة نلجأ إلى استعمال صمامات التعيير ذات القفل حيث يقوم المصمم بتعيير كمية التدفق في دارة المشع بإدخال المقاومة اللازمة لموازنة الدارة مع الدارات الأخرى، ومن ثم تقفل الصمامات بحيث لا يمكن لأحد أن يغير عيارها.

٦-٥ الضغط التحريكي في الدارة التثاقلية:

يتحرك الماء في الدارة ذات الجريان التثاقلي بفعل الضغط التحريكي الناتج عن فرق كثافة الماء الراجع والذاهب، ويقاوم ذلك الضغط التحريكي فعل الاحتكاك بالأنابيب والمقاومات المختلفة من مشعات ومرجل ووصلات وأكواع وصمامات وغيره.

في الدارة المبينة:



كثافة الماء الراجع ρ_r Kg/m (من جداول الماء بدلالة درجة الحرارة) ، كثافة الماء الذاهب ρ_d Kg/m

الارتفاع (H) بالمتر (من منتصف المشع إلى منتصف المرجل)

الضغط التحريكي C.P. بالباسكال Circulation Pressure

وتكون العلاقة الضغط التحريكي:

$$C.P = g.H.(\rho_r - \rho_d) \qquad Pa = N/m^2$$

$$C.P = 9.81.H.(\rho_r - \rho_d) \qquad Pa = N/m^2$$

ملاحظة:

يهمل الضغط التحريكي الناتج عن فعل التثاقل في حالة استعمال مضخة بالدارة، ويؤخذ بالحساب فقط الضغط التحريكي الذي تقدمه المضخة أو مجموعة المضخات.

٥-٧ سرعة جريان الماء ضمن الشبكة:

السرعة العظمى لجريان الماء ضمن شبكة أنابيب التدفئة محددة من جهة بالضجيج ومن جهة ثانية باهتراء الأنابيب وتآكلها.

وسبب الضجيج هو وجود الهواء في الماء أو انخفاض الضغط المفاجئ، أو الجريان المضطرب، وأحياناً تشكل البخار في نقاط الدارة.

كما أن الضجيج ينشأ أيضاً من جريان الماء المضطرب ضمن الصمامات والوصلات نتيجة زيادة السرعة في هذه المناطق عنها في الأنبوب العادي، ولتلافي ذلك يصار إلى اختيار صمامات ووصلات بقطر كبير.

أما اهتراء الأنابيب فناتج عن سرعة الجريان وعن وجود شوائب بالماء، وهذه الشوائب تسبب خدش السطح الداخلي للأنابيب. وهذه الخدوش تشكل فجوات فيما بعد، وتسبب دوامات تساعد على تشكل الجريان المضطرب.

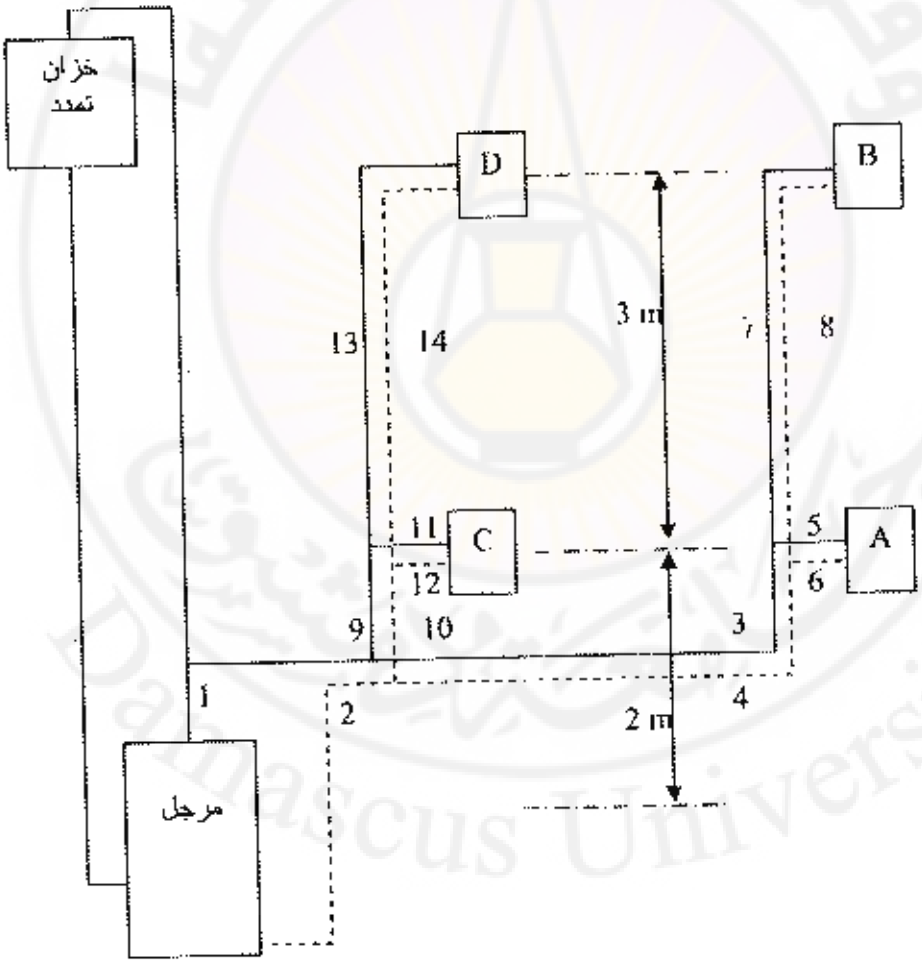
الجدول التالي يحدد السرعة العظمى المسموح بها:

قطر الأنبوب	ماء بدون شوائب m/s	ماء مع شوائب m/s	أنبوب نحاسي m/s
50 m m أو أقل	1.5	1	1
أكبر من 50 m m	3	1.5	1.5
أنبوب مستقيم طويل وتوزيع كبير	4	2	...

والجدول التالي يبين السرعة الدنيا لجريان الماء في الشبكة:

قطر الأنبوب	السرعة الدنيا للماء m /s
50 m m أو أقل	0.75
أكثر من 50 mm	1.25

٨-٥ حساب انخفاض الضغط في الدارة:



درجة حرارة الخط الذاهب $t_1 = 85\,^{\circ}C$

درجة حرارة الخط الراجع $t_2 = 65\,^{\circ}C$

الشكل يبين دارة تدفئة مركزية بأنبوب ذاهب وأنبوب راجع لغرفتين فوق بعضهما. المطلوب إيجاد الضغط التحريكي لكل دارة مشع من الدارات الأربع المبينة. وكذلك إيجاد انخفاض الضغط المستعمل في الحسابات الأولية لأقطار الأنابيب المبينة في الدارات بفرض:

١ـ الماء يتحرك بفعل التثاقل (الطريقة التثاقلية).

٢ـ الماء يتحرك بواسطة مضخة تسريع.

الجدول يبين أطوال الأنابيب الإجمالية بما فيها المقاومات المحلية:

رقم الأنبوب	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
الطول (m)	7	10	10	10	2	3	4	5	1	1	2	3	4	5

٥ـ٨ـ١ الحالة الأولى (الطريقة التثاقلية):

يمكن إيجاد الضغط التحريكي للحالة الأولى (الطريقة التثاقلية) لكل دارة باستعمال جداول IHVE حيث يعطي الجدول (C 4.8.) من (IHVE C4-1977) الضغط التحريكي لكل متر ارتفاع بدلالة درجات الحرارة.

حيث العلاقة:

$$C.P. = \Delta P = g \cdot H \cdot (\rho_2 - \rho_1)\ N/m^2$$

للدارة (A):

$$\Delta P_A = H \times 117$$

$$\Delta P_A = 2 \times 117 = 234 \quad N/m^2$$

للدارة (C):

لها قيمة الضغط التحريكي المتوافر في الدارة A نفسه

$$\Delta P_C = 234 \quad N/m^2$$

للدارة (B):

$$\Delta P_B = (2+3) \times 117 = 585 \quad N/m^2$$

للدارة (D):

لها قيمة الضغط التحريكي المتوافر في الدارة B نفسه.

$$\Delta P_D = 585 \quad N/m^2$$

حيث تؤخذ القيمة (117) من الجدول والموافقة لدرجة حرارة $85°C$ للخط الذاهب والفرق بين الذاهب والراجع $20°C$.

٥-٨-٢ تعريف الدارة الأبعد:

١- في حالة الدارة التثاقلية: هي الدارة الأسوأ أي التي لها أصغر قيمة للضغط التحريكي على طول الدارة الإجمالي أو الدارة التي لها أصغر قيمة لنسبة ارتفاع الدارة على طول الدارة.

٢- في حالة الدارة مع مضخة تسريع: هي الدارة ذات أكبر مقاومة وتكون عادة في أغلب الحالات هي الدارة الأبعد عن المرجل.

فإذا أخذنا الحالة التثاقلية: تكون النسبة للدارة A هي:

$$\frac{2}{42} = 0.0476$$

وللدارة B هي:

$$\frac{5}{46} = 0.109$$

أي النسبة للدارة A أصغر وتعتبر هي الدارة الأبعد في هذه الحالة.

A نحسب انخفاض الضغط لوحدة الطول في الدارة A:

حيث لدينا :

$$\Delta P_A = 234$$

$$\Delta P = \frac{234}{42} = 5.57 \ \ N/m^2 \cdot m$$

والذي بموجبه نختار قطر الأنبوب بمعلومية التدفق، من الأنبوب رقم (1) إلى رقم (6).

B انخفاض الضغط في الأنابيب 1 2 و3 و4 سيكون نفسه المستعمل للدارة A .

وهذا يساوي:

$5.57 \times 37 = 206 \ N/m^2$

لدينا الضغط التحريكي الكلي في الدرة B:

$$\Delta P_B = 585 \ \ N/m^2$$

الباقي بين القيمتين تكون قيمة الضغط التحريكي للأنبوبين 7 و 8 .

$$585 - 206 = 379 \ \ N/m^2$$

$$\frac{379}{9} = 42.1 \ \ N/m^2 \cdot m$$

والذي بموجبه نختار قطر الأنبوبين 7 و 8 بمعلومية التدفق.

C انخفاض الضغط في الأنابيب1 و 2 سيكون نفسه المستعمل في الدارة A

وهذا يساوي:

$$5.57 \times 17 = 94.7 \ N/m^2$$

انخفاض الضغط الباقي للأنابيب 9 و10 و11 و12 هو :

$234 - 94.7 = 139.3 \ \ N/m^2$

$$\frac{139.3}{7} = 19.9 \ \ N/m^2 \cdot m$$

والذي بموجبه نختار أقطار الأنابيب 9 و10 و11 و12 بمعلومية التدفق.

D في هذه الدارة الأنابيب 1 و 2 مشتركة مع الدارة A وفيها فرق الضغط يساوي $(94.7 \ N/m^2)$

والأنابيب 9 و10 مشتركة مع الدارة C وفيها فرق الضغط يساوي:

$19.9 \times 2 = 39.8 \ \ N/m^2$

فرق الضغط الباقي للأنابيب 13 و 14 هو:

$585 - 94.7 - 39.8 = 450.5 \ \ N/m^2$

فرق الضغط لوحدة الطول يكون:

$$\frac{450.5}{9} = 50.05 \ \ N/m^2 \cdot m$$

والذي بموجبه نختار أقطار الأنابيب 13 و 14 بمعلومية التدفق وذلك باستعمال الجداول المناسبة.

٥-٨-٣ الحالة الثانية (باستعمال مضخة تسريع في الدارة):

باستعمال مضخة تسريع في الدارة:

في هذه الحالة فإن الدارة الأبعد تكون الدارة الأطول، وفي هذه الحالة هي الدارة B، وفيها يمكن أن نختار فرق ضغط مناسب يتراوح بين $(100 \rightarrow 300 \ \ N/m^2)$.

سنأخذ مثلاً فرق ضغط ($\Delta P = 100 \ \ N/m^2$) للدارة الأبعد B والذي بموجبه نختار أقطار الأنابيب 1 و2 و3 و4 و7 و8 بمعلومية التدفق.

فيكون ضغط المضخة اللازم:

بأخذ طول الدارة B مساويا لـ (46 m).

$$46 \times 100 = 4600 \quad N/m^2$$

لحساب باقي الأقطار يجب أن نحقق ما أمكن دارات متوازية بفرق الضغط فمثلاً فرق الضغط في الفرع 5 و6 يجب أن يساوي فرق الضغط في الفرع 7 و8.

فيكون: للفرع 7 و8 فرق ضغط مساويا لـ:

$$9 \times 100 = 900 \quad N/m^2$$

وفي الفرع 5 و6 يساوي أيضا $900 \quad N/m^2$ أي لوحدة الطول يساوي:

$$\frac{900}{5} = 180 \quad N/m^2 \cdot m$$

والذي بموجبه نختار أقطار الأنابيب 5 و6 بمعلومية التدفق.

يجب أن يتساوى فرق الضغط بين الأنابيب 3 و4 و7 و8 مع 9 و10 و13 و14 حيث:

فرق الضغط في الأنابيب 3 و4 و7 و8 هو:

$$29 \times 100 = 2900 \quad N/m^2$$

ويكون نفسه للأنابيب 9 و10 و13 و14 ونحسب منه فرق الضغط لوحدة الطول للأنابيب المذكورة.

$$\frac{2900}{11} = 263.6 \quad N/m^2 \cdot m$$

والذي بموجبه نختار أقطار الأنابيب 9 و10 و13 و14 بمعلومية التدفق.

فرق الضغط في الأنابيب 11 و12 يجب أن يساوي فرق الضغط في الأنابيب 13 و14 حيث يساوي:

$$9 \times 263.6 = 2372.4 \ \ N/m^2$$

وفي 11 و12 يكون فرق الضغط لوحدة الطول:

$$\frac{2372.4}{5} = 474.5 \ \ N/m^2 \cdot m$$

والذي بموجبه نختار قطر الأنابيب 11 و12 بمعلومية التدفق.

لاحظ الفرق بالضغط لوحدة الطول بين الدارة التثاقلية والدارة مع مضخة تسريع وما يلزم من قطر أنبوب للتدفق نفسه. ولاحظ الفرق بين الضغط لوحدة الطول في الدارة الأبعد وفي الدارات الفرعية.

٩-٥ مقاومة وصلات الأنابيب والطول المكافئ l_e :

تشكل وصلات الأنابيب ما يسمى بالمقاومات، وهي تسبب ضياعات مكانية تنشأ عن وجود المقاومات في شبكة التدفئة مثل الأكواع والصمامات والمشعبات والمراجل وغيرها . وهذه المقاومات يجب أن تدخل بالحسابات عند اعتبار المقاومة الكلية للدارة، وربما كانت أفضل طريقة لحساب هذه المقاومة المحلية، أخذ ما تعادله من طول الأنبوب أي يقال عن كوع أنه يعادل (0.5m) أي أنه يعادل أنبوباً طوله نصف متر في الدارة وبقطر معين.

يمكن اعتبار انخفاض الضغط الناتج عن وجود هذه المقاومات على اعتبار أنه مرتبط بضغط السرعة أي بالعلاقة:

$$\Delta P = \zeta \frac{\rho \cdot V^2}{2}$$

حيث ζ ثابت ويسمى معامل ضغط السرعة:

$$\frac{4 \cdot f \cdot l}{d}$$

$$\Delta P = \Delta p \times l$$

حيث:

l - الطول.

Δp - انخفاض الضغط لوحدة الطول.

وبذلك يمكن أن نكتب:

$$\Delta P = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} = \frac{2 \cdot f \cdot l \cdot \rho \cdot V^2}{d}$$

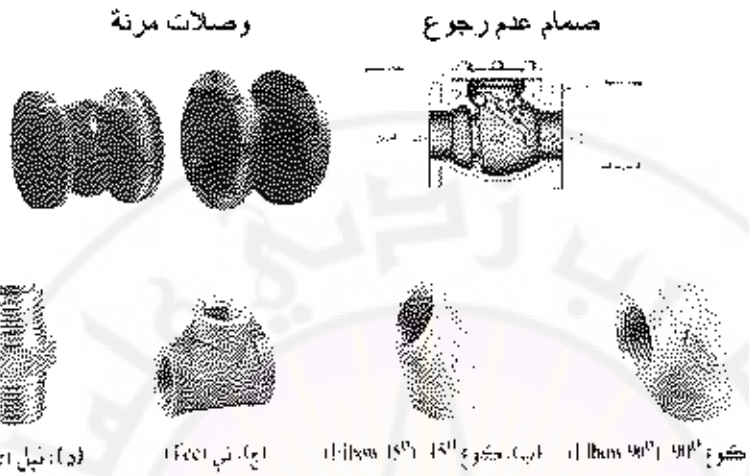
$$l = l_e \cdot \zeta = \frac{d}{4 \cdot f} \cdot \zeta$$

يمكن تحديد معامل ضغط السرعة ζ لكل نوع من المقاومات من جداول خاصة، وقيمة l_e تؤخذ من جداول تحديد أقطار الأنابيب بدلالة التدفق وانخفاض الضغط باعتبار $\zeta = 1$.

ومنه يمكن تحديد انخفاض الضغط الناتج عن مقاومة ما بالعلاقة التالية:

$$\Delta P = \Delta p \cdot l_e \cdot \zeta$$

الشكل التالي يبين بعض هذا الوصلات



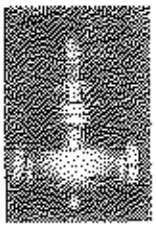
من أبرز الطرق لحساب هبوط الضغط خلال هذه الوصلات هو إعطاؤها بعدا طوليا يسبب الهبوط في الضغط نفسه خلال الوصلات أي يحسب هبوط الضغط خلال التوصيلات بشكل تجريبي، و من ثم يحسب البعد الطولي الذي يسبب المقدار نفسه من هبوط الضغط ، ويعطي كثير من الجداول البعد الطولي المكافئ لهبوط الضغط من خلالها. و الشكل التالي يبين قيم معاملات ζ لبعض الوصلات:

GATE VALVE:

Diameter mm	ζ
15	0.5
25	0.3
50	0.2
75	0.1







ANGLE VALVE: $\zeta = 5.0$

CAST IRON SECTIONAL BOILER: $\zeta = 2.5$

PANEL RADIATOR: $\zeta = 2.5$

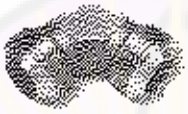
COLUMN RADIATOR $\zeta = 5.0$

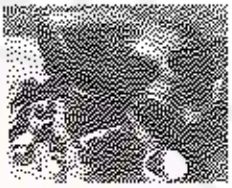
ENTRY TO LARGE VESSEL $\zeta = 1.0$

EXIT FROM LARGE VESSEL $\zeta = 0.4$

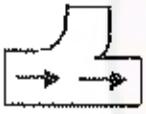
COPPER PIPE ELBOW:

Diameter mm	ζ
10-25	1.0
32-50	0.8
65-90	0.5
100	-



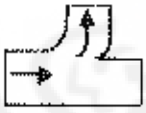


STRAIGHT THROUGH TEE: $\zeta = 0.2$ + (factor for enlargement or reduction where bores differ)



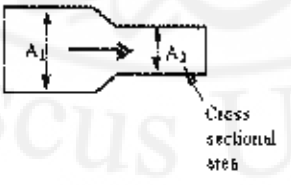


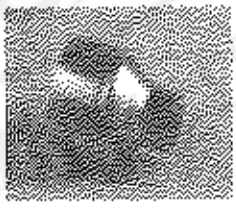
THROUGH BRANCH OF TEE: $\zeta = 0.5$ + (factor for enlargement or reduction where bores differ) + (factor for elbow)



REDUCTION:

A_2/A_1	ζ
01	0.55
02	0.50
03	0.45
04	0.40
06	0.25
08	0.05





جدول حساب معامل السرعة للإكسسوارات و الصمامات المركبة على الأنابيب :

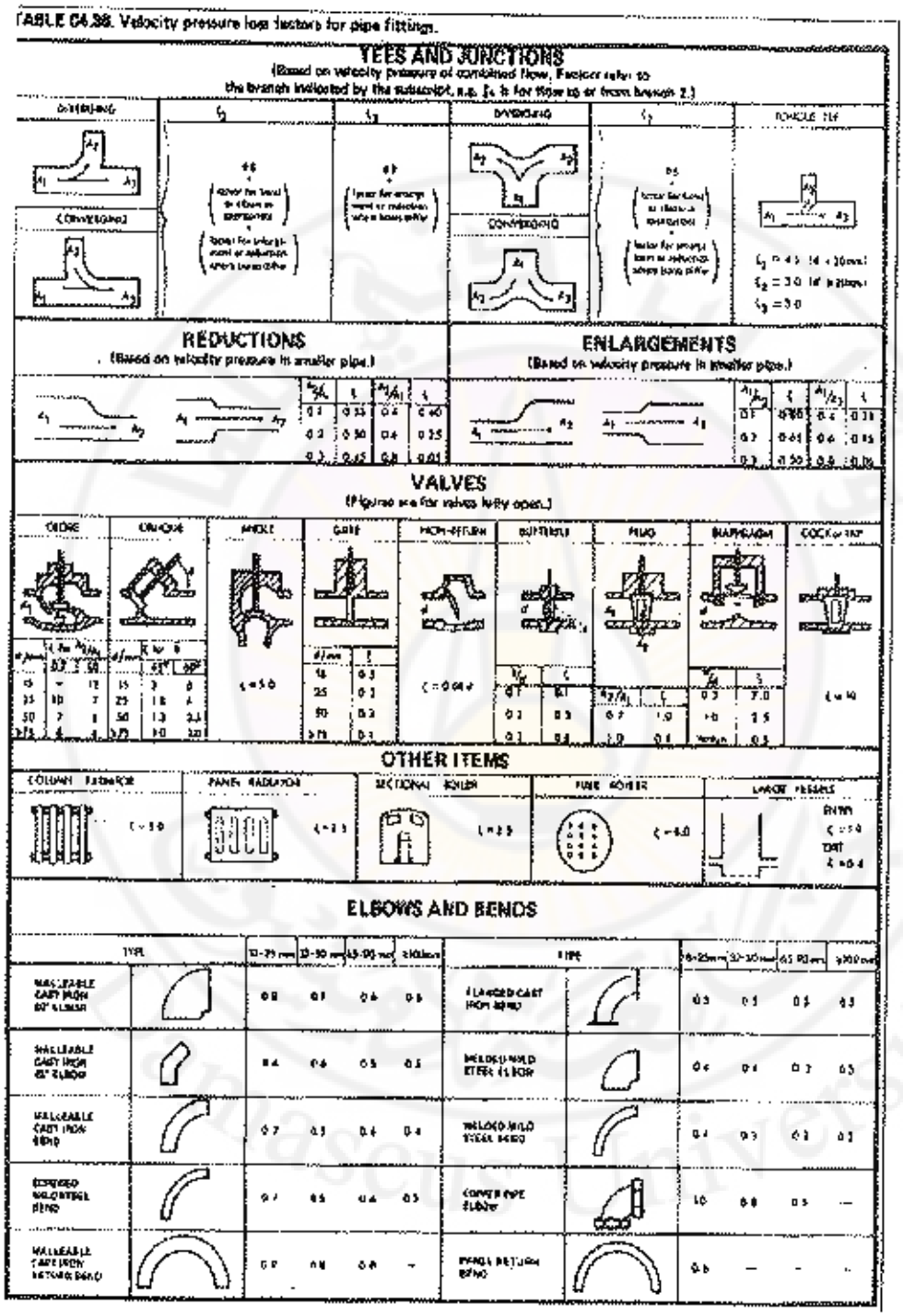


TABLE C4.38. Velocity pressure loss factors for pipe fittings.

YEES AND JUNCTIONS

(Based on velocity pressure of combined flow. Factors refer to the branch indicated by the subscript, e.g. ζ_3 is for flow to or from branch 3.)

DIVERGING

CONVERGING

REDUCTIONS

(Based on velocity pressure in smaller pipe.)

ENLARGEMENTS

(Based on velocity pressure in smaller pipe.)

VALVES

(Figures are for valves fully open.)

GLOBE

ANGLE

GATE

NON-RETURN

BUTTERFLY

PLUG

DIAPHRAGM

COCK or TAP

OTHER ITEMS

COLUMN RADIATOR

PANEL RADIATOR

SECTIONAL BOILER

TUBE BOILER

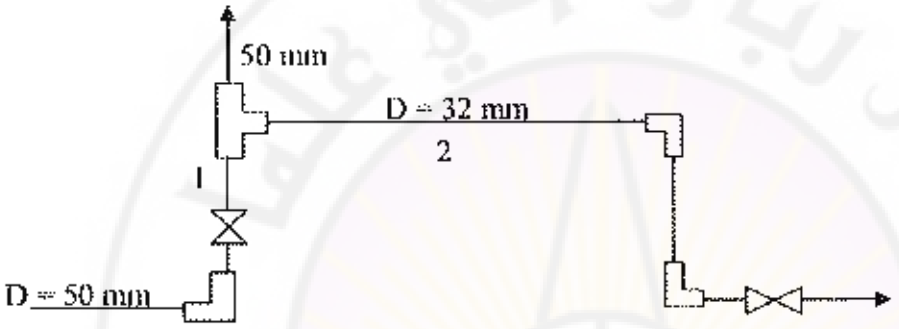
LARGE PLENUM

ELBOWS AND BENDS

TYPE	10–25 mm	32–50 mm	65–80 mm	≥100 mm	TYPE	6–25 mm	32–50 mm	65–80 mm	≥100 mm
MALLEABLE CAST IRON 90° ELBOW	0.8	0.7	0.6	0.5	FLANGED CAST IRON BEND	0.5	0.3	0.5	0.5
MALLEABLE CAST IRON 45° ELBOW	0.4	0.4	0.5	0.5	WELDED MILD STEEL ELBOW	0.4	0.4	0.2	0.5
MALLEABLE CAST IRON BEND	0.2	0.3	0.4	0.4	WELDED MILD STEEL BEND	0.4	0.3	0.3	0.3
EXPANDED WELDED STEEL BEND	0.2	0.5	0.4	0.5	CORNER PIPE ELBOW	1.0	0.8	0.5	—
MALLEABLE CAST IRON RETURN BEND	0.2	0.3	0.8	—	PIPE RETURN BEND	0.6	—	—	—

مثال:

حدد الضياعات الناتجة عن الأجزاء المستقيمة و المقاومات المكانية في الجزء من الشبكة المبينة بالشكل (الأنبوبان رقم 1 ورقم 2) إذا كان تدفق الماء في الأنبوب رقم (1) يساوي 1.8 kg/s، وفي الأنبوب رقم (2) يساوي 0.78 kg/s ، وطول الأنبوب رقم 1 يساوي 5 m والأنبوب رقم 2 يساوي 10 m .



الحل :

يتم تحديد قيم المعامل ζ من الجداول الخاصة بالضياعات المكانية وترتيبها بجدول كما يلي:

الأنبوب رقم -1 قطر 50 mm	ζ	$\sum \zeta$
كوع	0.5	2.1
صمام	0.2	
⊤ تيه ا تنقيصه من 55mm إلى 32mm	0.5 + 0.4 = 0.9	
كوع ضمن التيه ⊤	0.5	
الأنبوب رقم -2 قطر 32 mm	ζ	$\sum \zeta$
كوع عدد (٢)	0.5 × 2 = 1	1.25

صمام قطر 32 mm	0.25	

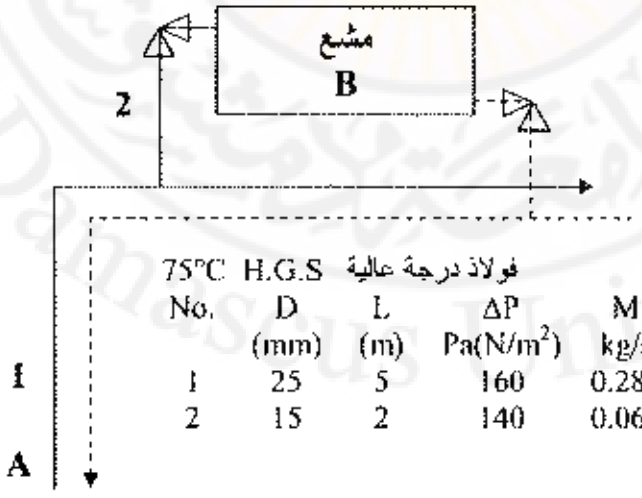
ثم نقوم بحساب ضياع الضغط الكلي في كل أنبوب كما في الجدول التالي:

رقم الأنبوب	القطر D	طول الأنبوب L	من الجداول: ضياع الضغط لواحدة الطول	من الجداول: l_e	$\sum \zeta$	الطول المكافئ $l_{eq} = \sum l_e \times \zeta$	ضياع الضغط الكلي في الأنبوب $\Delta P = \Delta p \cdot (L + l_{eq})$
	mm	m	Pa / m			m	Pa
1	50	5	140	2.5	2.1	2.5×2.1 = 5.25	140×(5+5.25) = 1435
2	32	10	200	1.5	1.25	1.5×1.25 = 1.875	200×(10+1.875) = 2375
مجموع الضياعات في الأنبوب رقم 1 و 2							3810

٥ـ١٠ حساب انخفاض الضغط الفعلي في الدارة:

الشكل يبين دارة مشع مع صمام زاوية وتيه وكوع:

احسب فرق الضغط بين (A , B)



75°C H.G.S فولاذ درجة عالية

No.	D (mm)	L (m)	ΔP Pa(N/m²)	M kg/s	*le*
1	25	5	160	0.282	1
2	15	2	140	0.061	0.5

نحسب أولاً الخط الذاهب، ونوجد قيمة الطول المكافئ للمقاومات المحلية:

في الأنبوب 1 لدينا كوع وتيه:

باستعمال الجداول (I H V E-C.4-1977) جدول (C4.36)

نأخذ للكوع $\zeta = 0.7$ قطر من 10 – 25 mm M. C. I. BNED

للتيه:

$\zeta = 0.5$ للتيه باتجاه الفرع من الأنبوب 1 إلى الأنبوب 2.

$\zeta = 0.7$ للكوع ضمن التيه (مثل الكوع السابق)

$\zeta = 0.4$ لتنقيص القطر من 25 إلى 15 $(A_2/A_1 = 0.36)$

يكون المجموع لـ ζ للأنبوب 1 مساويا : $\zeta = 2.3$

الطول المعادل $\zeta \times l_{el} = 2.3 \times 1 = 2.3m$

الطول الإجمالي للأنبوب الذاهب 1:

$$2.3 + 5 = 7.3 \text{ m}$$

فرق الضغط على هذا الأنبوب:

$$7.3 \times 160 = 1168 \ N/m^2$$

الأنبوب رقم 2: فيه صمام زاوية $\zeta = 5.0$

ومدخل مشع $\zeta = 2.5$

حيث نأخذ نصف قيمة ζ للمشع مع الخط الذاهب والنصف الاخر مع الخط الراجع.

مجموع قيمة ζ للخط الذاهب رقم 2 يكون:

$$\zeta = 5.0 + 2.5 = 7.5$$

الطول المعادل: $\zeta \times l_{e2} = 7.5 \times 0.5 = 3.75 \ m$

فرق الضغط على هذا الأنبوب (حيث الطول الإجمالي يساوي 5.75):

$$(2+3.75)\times 140 = 805 \ \ \mathrm{N}/m^2$$

فرق الضغط الكلي للخط الذاهب 1 و2

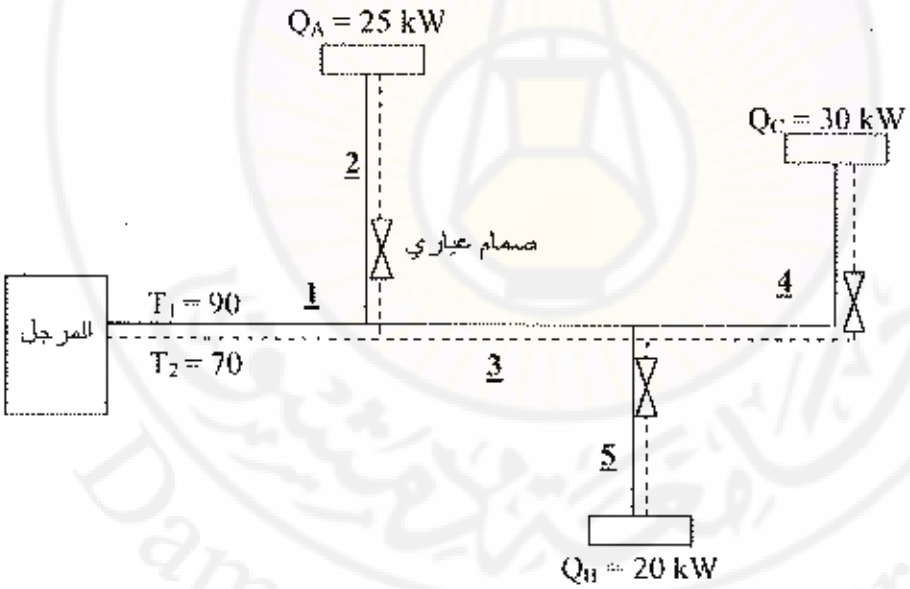
$$1168 + 805 = 1973\,\mathrm{N}/m^2$$

فرق الضغط للخط الذاهب والراجع هو ضعف فرق الضغط على الخط الذاهب:

$$1973 \times 2 = 3946 \ \ \mathrm{N}/m^2$$

مسألة :

شبكة تدفئة بالماء الساخن موضحة بالشكل التالي و معطياتها مبينة في الجدول والمطلوب:



١ حساب تدفق المياه في شبكة الأنابيب و تحديد الأقطار وتنظيمها في جدول

٢. تحديد الدارة الأبعد و حساب معدل تدفق المضخة و ضغط المضخة اللازمة للدارة

٣. حساب انخفاض الضغط خلال الصمامات العيارية لحصول التوازن الهيدروليكي في فروع الدارة

٤. حدد استطاعة المرجل اللازم للشبكة بفرض عامل أمان n=1.3

٥. مقطع المدخن إذا كان ارتفاعها 14m

٦. استطاعة الحرّاق بـ kg/h إذا علمت أن القيمة الحرارية للوقود 41800 kJ/kg و مردود المرجل $\eta = 0.8$

رقم الأنبوب للتغذية و الرجوع	1	2	3	4	5
البث للذاهب والراجع معًا kW	7	5	8	5	3
مجموع المعاملات المكافئ للوصلات ضمن الأنبوب للذاهب والراجع $\sum \zeta$	5	2	8	6	7
طول الأنبوب للخط الذاهب والراجع m	45	33	52	34	20

الحل:

الطلب الأول:

$$Q_1 = q_1 + q_2 + Q_A + q_3 + q_5 + Q_B + q_4 + Q_C$$

$$Q_1 = 7 + 5 + 25 + 8 + 3 + 20 + 5 + 30 = 103\ (kW)$$

$$Q_2 = Q_A + q_2 = 25 + 5 = 30\ (kW)$$

$$Q_3 = q_3 + Q_B + q_5 + Q_C + q_4$$

$$Q_3 = 8 + 20 + 3 + 30 + 5 = 66\ (kW)$$

$$Q_4 = Q_C + q_4 = 30+5 = 35 \ (kW)$$

$$Q_5 = Q_H + q_5 = 20+3 = 23 \ (kW)$$

$$m1 = \frac{Q_1}{C_w \times (T_{w1} - T_{w2})} = \frac{103}{4.18 \times (90 - 70)} = 1.232 \ (kg/s)$$

$$m2 = m1 \times \frac{Q_2}{Q_2 + Q_3} = 1.232 \times \frac{30}{30+66} = 0.385 \ (kg/s)$$

$$m3 = m1 \times \frac{Q_3}{Q_2 + Q_3} = 1.232 \times \frac{66}{30+66} = 0.847 \ (kg/s)$$

$$m4 = m3 \times \frac{Q_4}{Q_4 + Q_5} = 0.847 \times \frac{35}{35+23} = 0.511 \ (kg/s)$$

$$m5 = m3 \times \frac{Q_5}{Q_4 + Q_5} = 0.847 \times \frac{23}{35+23} = 0.336 \ (kg/s)$$

نحدد أقطار الأنابيب بناءً على التدفقات المحسوبة من جدول اختيار أنابيب الفولاذ متوسط الدرجة من المرجع IHVE-C4 بحيث يكون ضياع الضغط ضمن الأنابيب محصوراً بالمجال (100-300Pa/m) ونرتب النتائج كما في الجدول التالي:

رقم الأنبوب	1	2	3	4	5
Q kW	103	30	66	35	23
M kg/s	1.232	0.385	0.847	0.511	0.336
D mm	40	25	32	32	25
ΔP Pa	210	210	240	90	170
الطول المكافئ l_e	1.9	1.1	1.5	1.4	1

الطلب الثاني:

- انخفاض الضغط في فروع الدارة كما يلي:

$$P_A = (L1 + le1 \cdot \sum \zeta) \times \Delta P1 + (L2 + le2 \cdot \sum \zeta) \times \Delta P2$$

$$P_A = [45 + (1.9 \times 5)] \cdot 210 + [33 + (2 \times 1.1) \cdot 210] = 18837 \ Pa$$

$$P_B = (L1 + le1 \cdot \sum \zeta) \times \Delta P1 + (L3 + le3 \cdot \sum \zeta) \times \Delta P3 + (L5 + le5 \cdot \sum \zeta) \times \Delta P5$$

$$P_B = [45 + (1.9 \times 5)] \cdot 210 + [52 + (1.5 \times 8)] \cdot 240 + [20 + (1 \times 7)] \cdot 170 = 31395 \ Pa$$

$$P_C = (L1 + le1 \cdot \sum \zeta) \cdot \Delta P1 + (L3 + le3 \cdot \sum \zeta) \cdot \Delta P3 + (L4 + le4 \cdot \sum \zeta) \cdot \Delta P4$$

$$P_C = [45 + (1.9 \cdot 5)] \cdot 210 + [52 + (1.5 \cdot 8)] \cdot 240 + [34 + (1.4 \cdot 6)] \cdot 90 = 30621 \ Pa$$

الدارة الأبعد هي الدارة B حيث انخفاض الضغط لها أعظمي ويساوي 31395 Pa

ضغط المضخة اللازمة للدارة يساوي إلى:

$$P_p = 1.1 \times P_B = 1.1 \times 31395 = 34534.5 \ (Pa) \approx 3.45 \ m$$

تدفق المضخة يساوي التدفق في الأنبوب الرئيسي 1.232 kg/s

الطلب الثالث:

انخفاض الضغط في صمام العيار - ٢

$$\Delta P_2 = P_B - P_A = 31395 - 18837 = 12558 \ Pa$$

انخفاض الضغط في صمام العيار - ٥

$$\Delta P_5 = P_B - P_B = 0 \ Pa$$

انخفاض الضغط في صمام العيار - ٤

$$\Delta P_4 = P_B - P_C = 31395 - 30621 = 774 \ Pa$$

الطلب الرابع:

استطاعة المرجل المناسب

$$Q_R = 1.3 \times Q_L = 1.3 \times 103 = 133.9 \ (kW)$$

مقطع المدخنة

$$S_{ch} = \frac{Q_{\beta}}{680 \times \sqrt{h}} = \frac{133.9}{680 \times \sqrt{14}} = 0.052 \ \ m^2 = 0.23 \times 0.23 \ \ m$$

الطلب الخامس:

استطاعة الحراق

$$G_{burner} = \frac{Q_{\beta}}{\eta \times Q_{fuel}} \times 3600 = \frac{133.9}{0.8 \times 41800} \times 3600 \approx 14.415 \ \ (kg/h)$$

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل السادس

التجهيزات الأساسية للتدفئة المركزية بالماء الساخن
Main Components of Central Heating System

تحتوي دارات التدفئة بالماء الساخن على أجهزة متعددة تعمل مع بعضها البعض بشكل مترابط لتأمين الحرارة المطلوبة داخل المكان المراد تدفئته.

٦-١ **المراجل :**

تعتبر من الأجهزة الأساسية، وهي عبارة عن مولدات حرارية تستخدم لتسخين الماء أو لتشكيل البخار اللازم للتدفئة، ويجب أن تتميز المراجل بما يلي:

- صغيرة الحجم
- رخيصة الثمن
- قليلة الاستهلاك للوقود و أن تعمل بشكل آلي.

تصنف المراجل كما يلي:

a) حسب مادة الصنع، وغالبية المراجل مصنوعة من الحديد الصب أو من الفولاذ.

b) حسب الوقود المستهلك في المرجل (فحم – زيوت بترولية – مازوت – غاز - كهرباء)

c) حسب الاستعمال (للتدفئة - للتدفئة و إنتاج الماء الساخن - للماء الساخن فقط)

d) حسب التصميم (مراجل ذات مقاطع بأسطوانات اللهب أو اسطوانات الماء)

٦-١-١ مراجل الحديد الصب :

و تكون على شكل مقاطع تجمع مع بعضها البعض لتعطي الاستطاعة المطلوبة و يمكن أن تركب في المصنع على شكل مرجل كامل بالنسبة للاستطاعات الصغيرة.

يزود المرجل عادة بفتحة علوية لأنبوب الماء الساخن و فتحة سفلية لأنبوب الماء الراجع، و يحتوي أيضا على فتحة أمامية لتركيب الحراق و على فتحة خلفية دائرية توصل مع المدخنة لطرد غازات الاحتراق.

تحسب استطاعة المرجل كما يلي:

تحسب من العلاقة التالية

$$Q_b = Q_{tot} \cdot (1 + P_1 + P_2)$$

حيث:

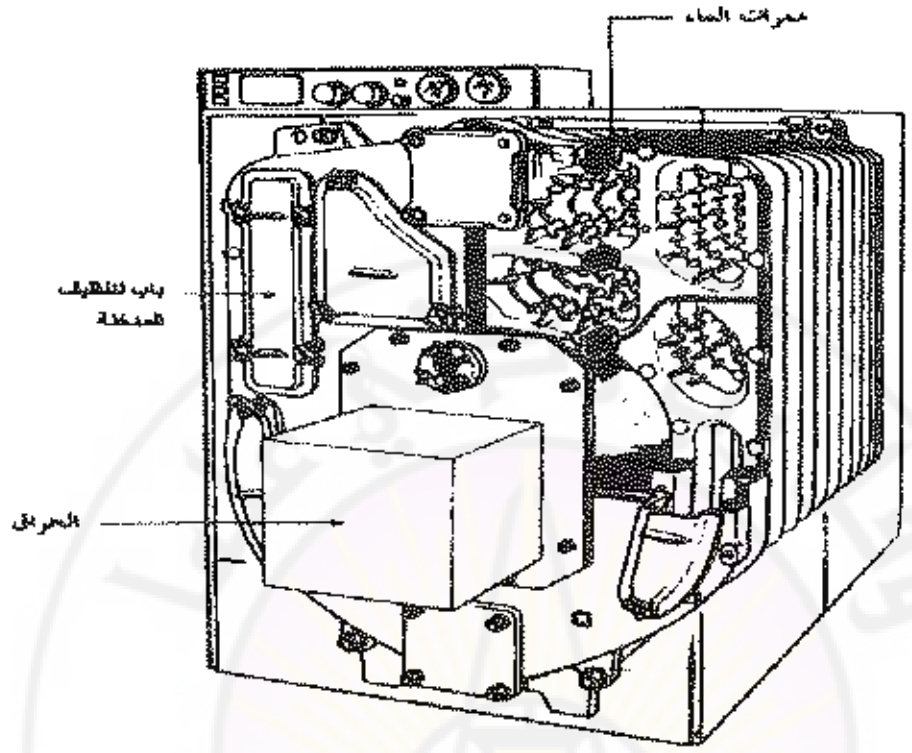
Q_b : استطاعة المرجل

Q_{tot} : الحمل الحراري الكلي

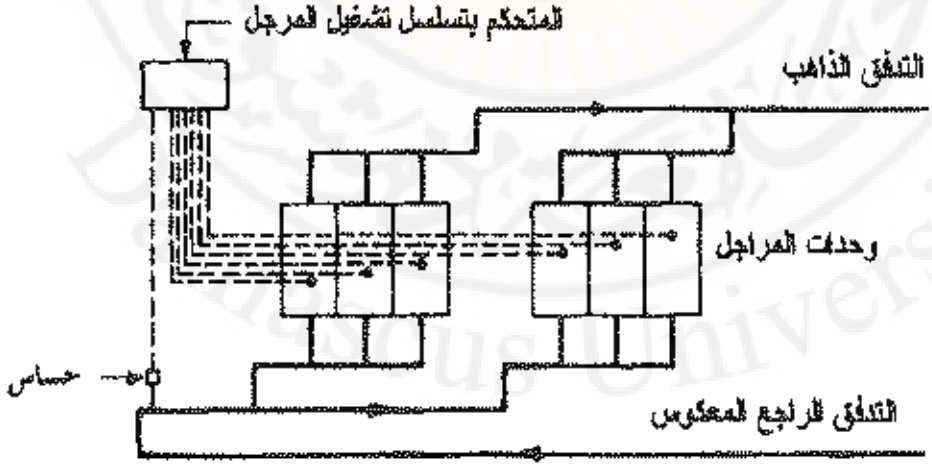
P_1 : عامل الضياع الحراري من الأنابيب و يؤخذ $P_1 = 0.1$

P_2 : عامل بدء التشغيل و يؤخذ $P_2 = 0.2$

يبين الشكل التالي مرجلاً للماء الساخن ذا مقاطع



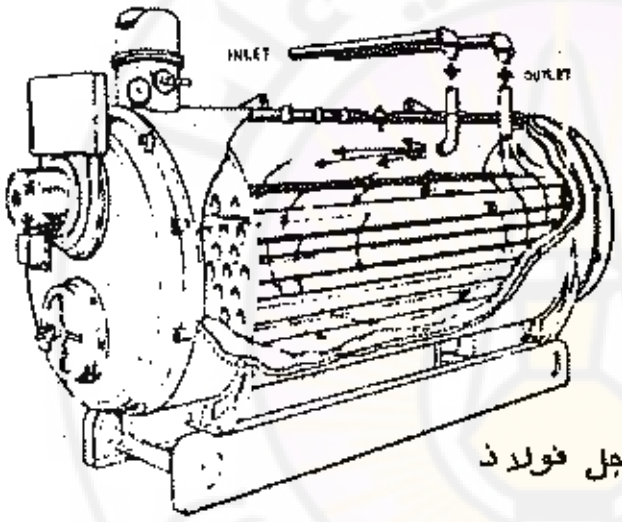
يبين الشكل مخططا للتحكم بتسلسل تشغيل المراجل



٦-١-٢ مراجل الفولاذ:

تصنع من صفائح و أنابيب، وتكون إما من نوع أنابيب اللهب حيث يمر اللهب و غازات الاحتراق داخل هذه الأنابيب و يمر الماء خارجها أو من أنابيب يمر الماء داخلها و تمر غازات الاحتراق حول الأنابيب.

تتحمل هذه المراجل ضغوطا عالية، لذا تستخدم في الأبنية المرتفعة كما في الدارات ذات درجات الحرارة المرتفعة أكثر من 110°C درجات مئوية.



TYPICAL FIRE-TUBE HOT WATER BOILER

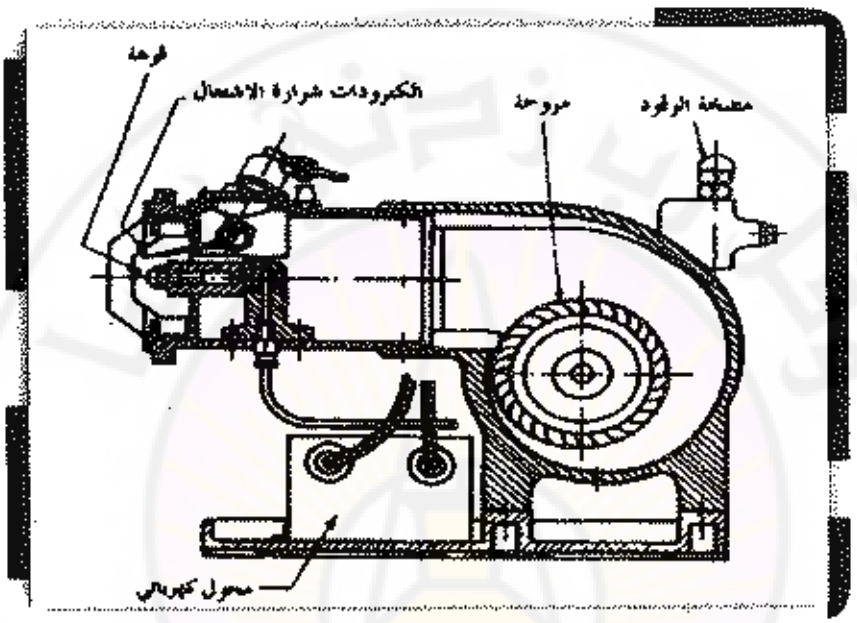
نموذج مرجل فولاذ

٦-٢ متممات المراجل :

يزود عادة المرجل بمقياس حرارة و مقياس ضغط و صمام أمان يفتح عند ازدياد الضغط بالمرجل، وصمام لتفريغ الماء من المرجل عند اللزوم و منظم درجة حرارة يتحكم بعمل الحراق، ويركب أنبوب تهوية مثبت أعلى المرجل و يتصل بخزان التمدد. استطاعة المرجل يجب أن تكون كافية لإعطاء الحرارة المطلوبة لتدفئة المكان مضافا إليها الضياعات الحرارية في أنابيب شبكة التدفئة

٣-٦ الحراقات:

تستعمل حراقات آلية تقوم بتذرير الوقود السائل و مزجه بالهواء قبل اشتعاله بواسطة شرارة كهربائية، ويبين الشكل التالي نموذج حراق للوقود



تحدد استطاعة الحراق بحسب استطاعة المرجل و من مواصفات الوقود و يعبر عن استطاعة الحراق بكمية المازوت أو الوقود الذي يحرق خلال واحدة الزمن، وتؤخذ عادة kg/h و يتم تحديد هذه الكمية من العلاقة التالية:

$$M = \frac{Q_h \cdot 3600}{\eta \cdot C_v} \quad kg/h$$

حيث:

M - كمية المازوت اللازمة بالساعة kg/h

Q_b - استطاعة المرجل kW

C_v - القيمة الحرارية للوقود و تساوي للمازوت 41800 kJ/kg

η - مردود المرجل بشكل تقريبي يساوي 85%

٦-٤ حساب كمية الوقود المستهلك :

يتبع استهلاك الوقود إلى عدة عوامل و هي :

١- الضياعات الحرارية للبناء (Q)

٢- القيمة الحرارية للوقود المستعمل (C_V)

٣- مردود المرجل (η)

٤- عدد الأيام التي تحتاج إلى تدفئة (N)

٥- عامل استعمال التدفئة (F)

٦- عامل الطقس و اختلاف درجة الحرارة الخارجية (C)

٦-٥ الضياع الحراري للبناء Q :

يتم حساب الضياع الحراري للبناء Q بحسب شروط التصميم من حيث سرعة الرياح وتسرب الهواء إلى الغرف . وبما أن تسرب الهواء لا يكون في جميع الاتجاهات للبناء ، وباعتبار البناء وحدة متكاملة فإن ذلك يؤدي إلى تخفيض مقدار الحرارة اللازمة للبناء حوالي (20%) عن كمية الضياع الحراري المحسوب . كما انه عند حساب الضياع الحراري للبناء لم يؤخذ بعين الاعتبار الحرارة المتولدة من المنابع الحرارية كالإنارة والأشخاص وغيرها، وهذا يعطي تخفيضا مقداره حوالي (5%) عن كمية الحرارة المحسوبة.

ويكون مجموع التخفيض نتيجة ما ذكر يساوي (25%) من كمية الحرارة المحسوبة ، وتصبح بذلك كمية الحرارة المعتبرة تساوي $(0.75\ Q)$ حيث تقدر Q بالكيلو وات وتساوي الضياع الحراري للبناء .

٦-٦ القيمة الحرارية للوقود : C_V

وتتبع لنوع الوقود المستعمل، وتساوي تقريبا بالنسبة للمازوت المستعمل بالتدفئة للمقدار (41800 kJ/kg) .

٦-٧ مردود المرجل : η

ذكرنا سابقا أن مردود المرجل يتبع لنوع المرجل و مواصفات حرق الوقود فيه و أن هذا المردود ينقص بعد التشغيل، ويمكن اعتباره بشكل وسطي و تقريبي حوالي (85 %) .

٦-٨ عدد الأيام التي تحتاج إلى تدفئة : (N)

إنّ عدد الأيام التي تحتاج إلى تدفئة للموقع الجغرافي للمكان المدفأ كثيرة في المناطق الشمالية، وتصل إلى (300) يوم في المناطق الاسكندينافية، أما في المناطق المعتدلة فتتراوح بين (150) يوما للمدن الداخلية و 120 يوما للمدن الساحلية .

٩-٦ عامل استعمال التدفئة : (F)

يعرف عامل استعمال التدفئة بنسبة عدد ساعات التشغيل الفعلية إلى عدد ساعات الأيام التي تحتاج إلى تدفئة :

$$F = \frac{\tau \times n}{24 \times N}$$

حيث:

τ عدد ساعات التشغيل الفعلية اليومية .

n عدد أيام استعمال التدفئة الفعلية .

N عدد الأيام التي تحتاج إلى تدفئة .

و تتراوح قيمة العامل F من 1 للمستشفيات حيث التدفئة مستمرة من 0.62 للمباني السكنية إلى 0.39 للمدارس حيث يؤخذ في عين الاعتبار العطل و فترات الدوام الفعلية .

١٠-٦ عامل الطقس و اختلاف درجة الحرارة الخارجية $(°C)$:

إن درجة الحرارة الخارجية تتغير أثناء اليوم و بحسب الشهر وإنّ الضياع الحراري المحسوب اعتمد درجة الحرارة الخارجية الدنيا التي لا تستمر إلا فترة قصيرة، بينما تحتاج باقي الأوقات إلى تدفئة تكون درجة الحرارة الخارجية فيها اعلى من درجة التصميم المعتمدة .

لذلك وجد من الضروري إدخال هذا العامل الذي يمثل تغير درجة الحرارة الخارجية، ويمكن اعتباره مساوياً في بلادنا إلى المقدار $(°C = 0.6)$

مما تقدم يمكن تحديد مقدار المازوت المستهلك (M) بالكيلو غرام خلال فترة التدفئة وذلك بتطبيق المعادلة التالية :

$$M = \frac{0.75\ Q \cdot 24\ N \cdot F \cdot C \cdot 3600}{C_v \cdot \eta}$$

و بتعويض قيمة كل عامل نحصل على :

$$M = \frac{0.75 \cdot 24 \cdot 0.6 \cdot 3600}{41800} \times \frac{Q \cdot N \cdot F}{\eta}$$

$$M = 0.93\ \frac{Q \cdot N \cdot F}{\eta}$$

و باعتبار مدينة داخلية $(N = 150)$ ومردود مرجل يساوي $(\eta = 75\%)$

يكون $M = 186\ (Q \cdot F)$

إذا اعتبرنا :

$F = 1$	يكون	$M = 186 \cdot Q$
$F = 0.62$	يكون	$M = 115 \cdot Q$
$F = 0.39$	يكون	$M = 72.5 \cdot Q$

حيث :

Q بالكيلو وات

M بالكيلو غرام .

ρ_f كثافة المازوت تساوي $840\ Kg/m^3$

١١-٦ خزانات المازوت :

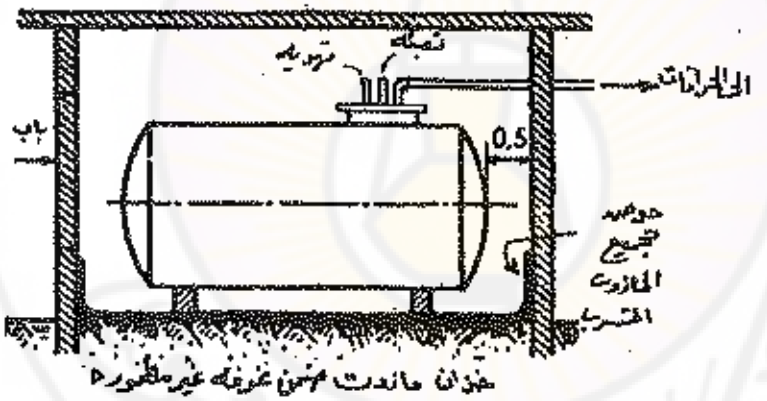
من المفضل تأمين خزانات للمازوت تستوعب استهلاك شهر على الأقل . تصنع هذه الخزانات بشكل أسطواني أو متوازي المستطيلات من الصاج الأسود بسماكة لا تقل عن (3 mm) وتصل إلى (6 mm) في الخزانات الكبيرة . و تكون

الخزانات إما مطمورة أو ضمن غرفة بيتونية ذات منسوب منخفض عن منسوب المرجل، وهذا يتطلب استخدام خزان مازوت يومي يوضع على مستوى منسوب المرجل نفسه مع استخدام مضخة مازوت لتعبئته من الخزان الشهري المطمور.

توضع خزانات الوقود في غرفة مستقلة بحيث تكون غير متصلة مع غرفة المراجل، ويكون لها مدخل مستقل، وتركب الخزانات على قواعد إسمنتية أو معدنية، وتعزل جيدا لمنع الصدأ إذا كانت مطمورة .

وفي التأسيسات الكبيرة من المستحسن استعمال أكثر من خزان حيث يمكن تعبئة أحدهما بينما يكون الآخر في حالة الاستعمال .

يركب على خزان المازوت التجهيزات التالية :

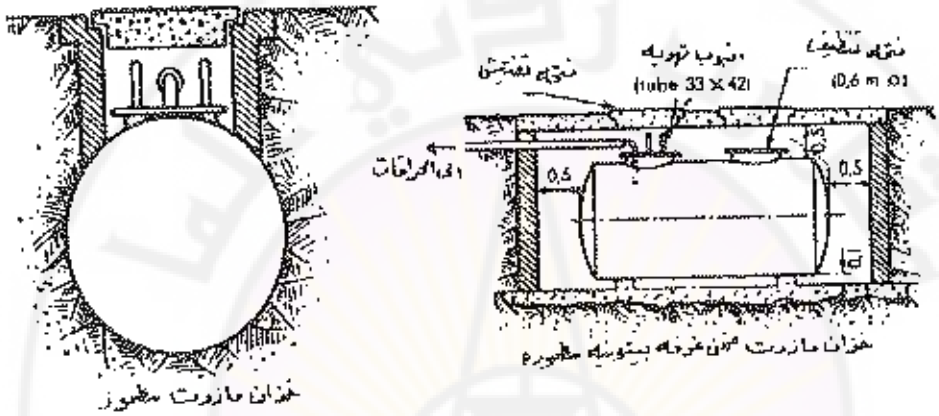


١- مقياس لبيان المنسوب .

٢- أنبوب تعبئة و أنبوب تهوية .

٣- سكر للتفريغ و فتحة للتنظيف .

٤- صمام إغلاق على أنبوب تغذية الحراق مع مصفاة مازوت ويركب أيضا صمام ألي يغلق عند حدوث أي حريق في غرفة المراجل لمنع استمرار تدفق المازوت .



٦-١٢ المدخنة :

ترتفع بمقدار 2 m فوق السطح الأخير للبناء، ويكون مقطعها مناسبا لاستطاعة المراجل، ويحسب مقطعها بالعلاقة التجريبية التالية :

$$S = \frac{Q_h}{680 \cdot \sqrt{h}} \quad (m^2)$$

Q_h - استطاعة المرجل (kW)

h - ارتفاع المدخنة ويزيد عن ارتفاع البناء بـ 2 m

٦-١٣ أقنية إخلاء الهواء الفاسد و أقنية جلب الهواء الجديد :

أقنية إخلاء الهواء الفاسد تكون مجاورة ما أمكن للمداخن، وتكون شاقولية ، مساحة مقطعها:

$$S_{out} = \frac{1}{2} S \ (m^2)$$

أقنية إحضار الهواء الجديد أفقية ترتفع عن أرضية الغرفة بمقدار 0.5m ومساحة مقطعها :

$$S_{in} = \frac{3}{4} S \ (m^2)$$

تحسب مساحة غرفة المراجل حسب إحدى العلاقتين:

$$S = \frac{\sqrt{V}}{3} \ (m^2) \qquad \text{او} \qquad S = \frac{\sqrt{Q_t}}{20} \ (m^2)$$

حيث:

Q_t - حمل البناء الكلي W

V - حجم البناء الكلي m^3

٦-١٤ خزان التمدد و التغذية :

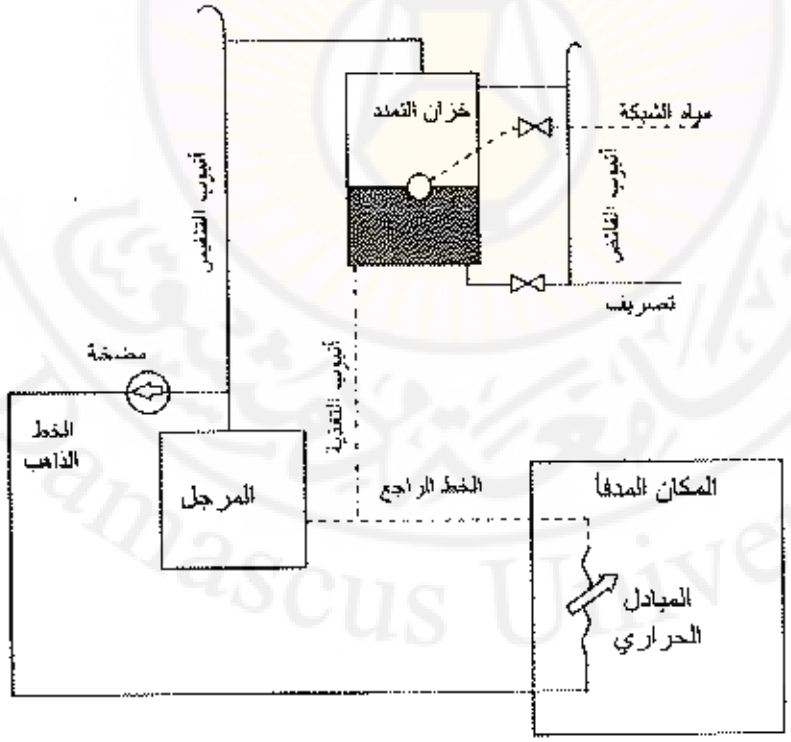
يوجد نوعان من خزانات التمدد:

(a) خزان التمدد المفتوح (b) خزان التمدد المغلق

٦-١٤-١ خزان التمدد المفتوح :

يستعمل هذا الخزان لتغذية شبكة التدفئة بالماء عند التعبئة و للتعويض الدائم عن أي فقد في كمية الماء داخل الشبكة، كما أنه يقوم باستيعاب الزيادة في حجم الماء المتمدد بسب ارتفاع الحرارة، و يتم تركيب خزان التمدد المفتوح في مكان مرتفع من البناء بحيث يكون مستوى قاعدته أعلى من أعلى نقطة في دارة التدفئة لضمان تعبئة الدارة بكاملها ولفرض ضغط معين على الشبكة و المرجل لمنع تشكل البخار . يوضح الشكل التالي خزان تمدد مفتوح موصول مع الشبكة.

- لا يجوز أن يحتوي أنبوب التنفيس على صمام من المرجل إلى خزان التمدد
- يفضل أن لا يحتوي أنبوب التغذية على صمام من المرجل إلى خزان التمدد.



٦-١٤-٢ حجم خزان التمدد :

لحساب الحجم يجب معرفة كمية الماء في الشبكة فإذا كان حجم الماء في الدارة عند درجة حرارة t_1 هو V

و درجة حرارة الماء الوسطية بعد التشغيل هي t_2

V_1 - الحجم النوعي للماء عند t_1

V_2 - الحجم النوعي للماء عند t_2

يكون وزن الماء في الدارة $m = \frac{V}{v_1}\ kg$

هذا الوزن لا يتغير مع تغير درجة الحرارة و بذلك يكون حجم التمدد E مساويا إلى :

$$E = (m \cdot v_2 - m \cdot v_1)$$

بتعويض m من العلاقة السابقة نجد

$$E = \frac{V}{v_1}(v_2 - v_1)$$

يؤخذ عادة حجم خزان التمدد ضعف حجم التمدد E او أكثر

و يمكن الاستعانة ببعض الجداول التي تعطي حجم خزان التمدد بدلالة استطاعة المرجل بالإضافة لأقطار الأنابيب الموصولة بالخزان

تحسب أقطار الأنابيب بدلالة استطاعة المرجل كما يلي:

قطر أنبوب التغذية يحدد من العلاقة التالية:

$$d_2 = 15 + \sqrt{Q_n}\ (mm)$$

قطر أنبوب التنفيس يحدد من العلاقة التالية:

$$d_1 = 15 + 1.5\sqrt{Q_b}\ \ (mm)$$

Q_b - استطاعة المرجل kW

كما يبين الجدول التالي المقاييس المعتمدة لخزان التمدد المفتوح وتوصيلاته كتابع لاستطاعة المرجل بحسب المرجع IHVE-B (يجب أن لا يقل حجم خزان التمدد عن القيمة المذكورة بالجدول)

استطاعة المرجل kW	حجم الخزان الاسمي	أنبوب الفواشة mm	أنبوب التغذية mm	أنبوب التنفيس mm	أنبوب الفائض mm
Up to 20	40	15	20	25	25
20 - 45	70	15	20	25	32
45 - 60	90	15	20	25	32
60 - 75	110	15	25	32	32
75 - 150	170	15	25	32	32
150 - 225	220	20	32	40	40
225 - 300	260	20	32	40	40
300 - 375	300	20	40	50	40
375 - 450	350	20	40	50	50
450 - 600	430	25	40	50	50
600 - 750	550	25	50	65	50
750 - 900	680	25	50	65	50
900 - 1200	880	25	50	65	80
1200-1500	1000	25	50	65	80

٣-١٤-٦ خزان التمدد المغلق :

يستعمل عند عدم إمكانية تركيب خزان مفتوح أو عند الحاجة لضغط أعلى من الضغط الجوي حيث يؤمن الضغط بواسطة الهواء أو أي غاز . يمتاز الخزان المغلق بما يلي :

١- منع التبخر أو التجمد (للماء في الخزان المفتوح)

٢- الحاجز مطاطي من نوع القابل للاستخدام الغذائي (قابل للتبديل)

٣- ضغط الشبكة كاملة

٤- تركيب سهل وسريع

٥- بدون صيانة (لا يحتاج إلى صيانة)

٦- خزان تمدد مغلق أفقي أو عمودي

٧- الحاجز المطاطي يحجز تماما الماء عن الهواء

٨- الصاج مدهون من الداخل والخارج بدهان مانع للصدأ

٩- صمام لدخول الهواء من النموذج المستخدم في عجلات السيارة مع غطاء نظامي

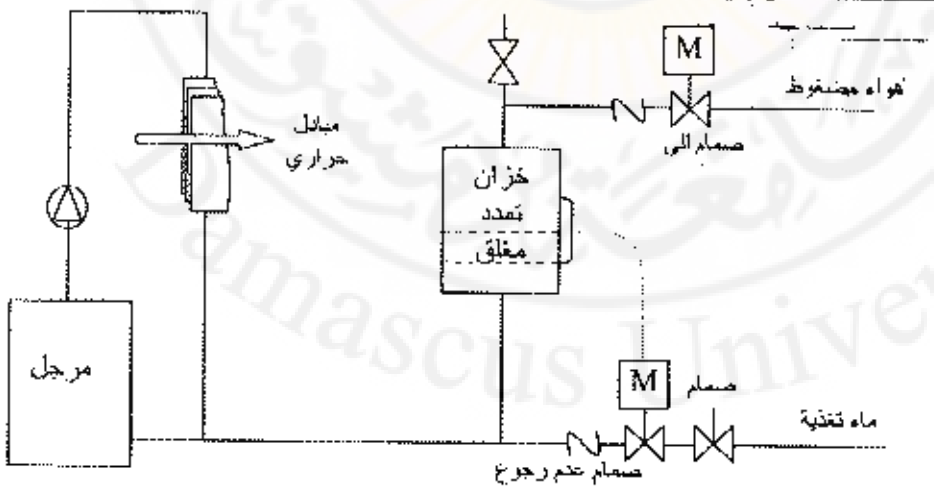
١٠- الخزانات من سعة 2 l إلى 24 l تركب مباشرة على أنبوب للشبكة

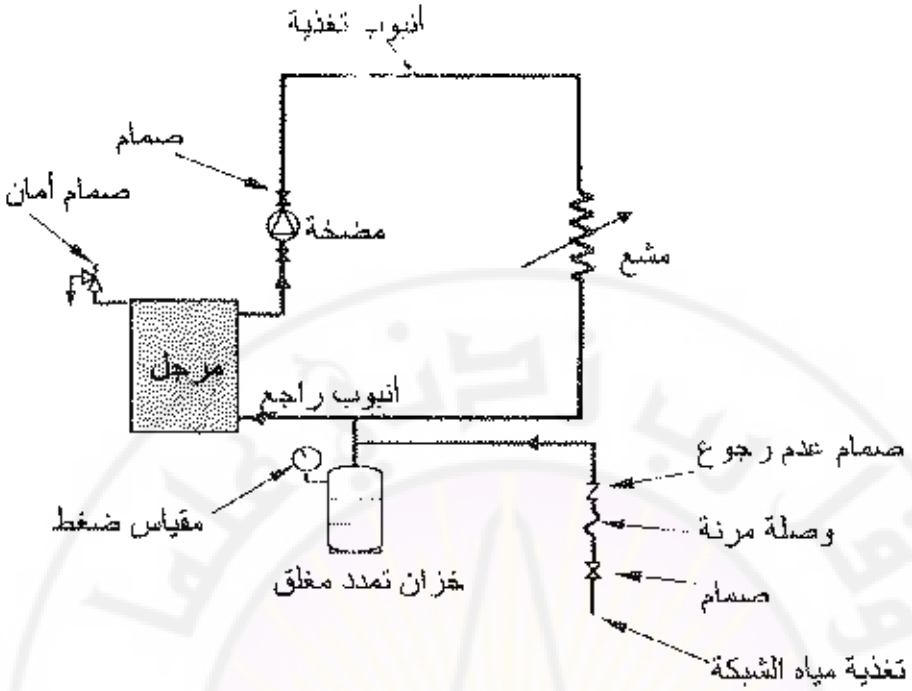
١١- الخزانات الأكبر تركب على أرجل على الأرض

١٢- جميع الخزانات يجري اختبارها بالمعمل على ضغط التجريب المعلن

١٣- عند استخدامه في (أعمال ضخ المياه الصحية) يسمح تجميع أو تخزين الماء في الخزان بتقليل إقلاعات المضخة الضاغطة

توصيلة خزان التمدد المغلق:





٦-١٤-٤ حجم خزان التمدد في دارة التدفئة بالماء الساخن المتدفئة:

حيث يمكن الحصول على حجم خزان التمدد المغلق بدلالة الضغوط المطبقة P_1 و P_2 و P_0 (الضغط الجوي وضغط التعبئة و ضغط التشغيل الذي يتبع لدرجة حرارة التشغيل) و حجم ماء الشبكة



$P_2 \times V_2$ $P_1 \times V_1$ $P_0 \times V_0$

من المعلومات المعروفة بالثيرموديناميك لدينا:

$$P_0 \times V_0 = P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

لدينا :

$$E = \frac{V}{V_0}(v_1 - v_0)$$

$$V_2 = V_1 - E$$

أو

$$V_1 = V_2 + E$$

بالتعويض ينتج لدينا

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times (V_1 - E) = P_2 \times V_1 - P_2 \times E$$

$$V_1(P_1 - P_2) = -P_2 \times E$$

حجم خزان التمدد مع بالون

$$V_1 = \frac{P_2 \times E}{P_2 - P_1}$$

بالتعويض بالعلاقة

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

$$P_0 \times V_0 = P_1 \times \frac{P_2 \times E}{P_2 - P_1}$$

و منه يمكن أن نكتب حجم خزان التمدد بدون بالون

$$V_1 = \frac{P_1}{P_0} \times \frac{P_2 \times E}{P_2 - P_1}$$

مثال:

أحسب حجم خزان التمدد المغلق إذا علمت أن :

الضغط الجوي $P_0 = 1\ bar$ و ضغط التعبئة $P_2 = 2\ bar$

ضغط التشغيل $P_2 = 4\ bar$ و حجم التمدد $E = 100\ l$

حجم خزان التمدد مع بالون مطاط:

$$V_2 = \frac{P_2 \times E}{P_2 - P_1}$$

$$V_1 = \frac{4 \times 100}{4 - 2} = 200l$$

حجم خزان التمدد بدون بالون مطاط:

$$V_0 = \frac{P_1}{P_0} \times \frac{P_2 \times E}{P_2 - P_1}$$

$$V_0 = \frac{P_1}{P_0} \times V_1 = \frac{2}{1} \times 200 = 400\ l$$

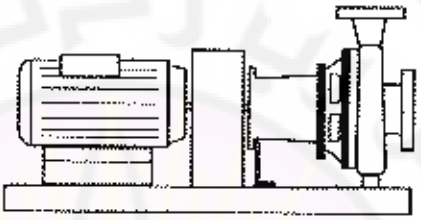
تجدر الملاحظة أنه إذا زودنا الخزان ببالون هواء ضغطه مساو لضغط التعبئة، فإن حجم خزان التمدد يصبح مساوياً لـ V_1 أي 200 لتر وبذلك يمكن تخفيض حجم خزان التمدد.

١٥-٦ مضخات التدفئة (مضخات التسريع):

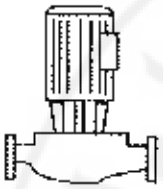
تستخدم في شبكات التدفئة مضخات للتغلب على المقاومات داخل الشبكة و تركيب المضخة إما على شبكة التغذية أو على شبكة العودة، وتكون من النوع الطارد المركزي، وهي تدار بمحرك كهربائي، وتمتاز بتدفقها الكبير وضغطها الصغير.

تركب بشكل زوجي بحيث تعمل واحدة و الأخرى تكون احتياطية كما تصمم مضخات التدفئة بحيث تسمح باستمرار التدفئة بالجريان الطبيعي عند توقفها عن العمل لأي سبب.

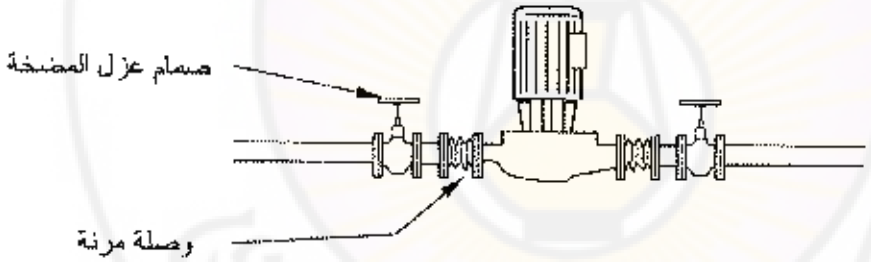
و لمضخات التسريع نماذج عديدة فمنها الأفقية و الراسية و بعض المضخات الصغيرة تركب على الأنبوب مباشرة



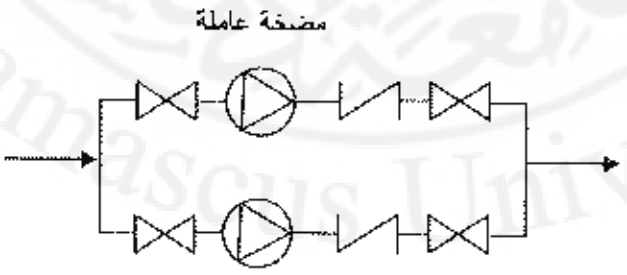
مضخة تركب على قاعدة



مضخة تركب على الخط مباشرة



تركب المضخات بشكل زوجي كما في الشكل التالي:



يحسب تدفقها من العلاقة التالية :

$$M = \frac{Q_{tot}}{C_w \cdot (T_1 - T_2)} \quad kg/s$$

Q_{tot} - الحمل الحراري الكلي kW .

C_w - السعة الحرارية للماء $J/kg°C$

T_1 - درجة حرارة الماء الذاهب من المرجل $°C$.

T_2 - درجة حرارة الماء الراجع للمرجل $°C$.

نحصل على كمية الماء المتدفق M بواحدة الكيلو غرام بالثانية

٦-١٥-١ قوانين التشابه :

إذا كان لدينا مضخة تسريع مركبة في دارة تدفئة وتعطي تدفقا مقداره M_1 وضغطا مقداره $\Delta P_1 \ (N/m^2)$ ، واستطاعتها $N_1 \ (W)$ عند عدد دورات $n_1 \ (1/s)$ ، والمطلوب حساب مواصفات المضخة عند عدد دورات $n_2 \ (1/s)$ ، فإنه يمكن استعمال علاقات التشابه للمضخات حيث لدينا:

للتدفق : $$M_2 = M_1 \frac{n_2}{n_1}$$

للضغط: $$\Delta P_2 = \Delta P_1 (\frac{n_2}{n_1})^2$$

للاستطاعة: $$N_2 = N_1 (\frac{n_2}{n_1})^2$$

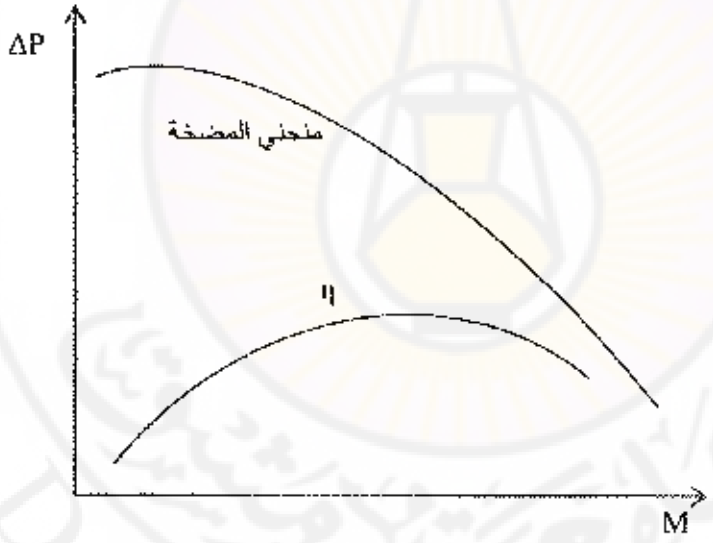
$$N = M_{m^3/s} \cdot \Delta P_{N/m^2} = {}_{N\cdot m/s(W)}$$ حيث:

يمكن تحديد استطاعة المحرك الكهربائي اللازم من معرفة المردود الميكانيكي η_m و مردود المحرك الكهربائي η_e

استطاعة المحرك الكهربائي : $$\tilde{N} = \frac{N}{\eta_e \cdot \eta_m}$$

٦-١٥-٢ المخططات المميزة للمضخات

يبين الشكل مخطط التدفق و الضغط لمضخة مع مخطط المردود



٦-١٥-٣ خصائص شبكة التدفئة ومقاومة الأنابيب:

في أي شبكة تدفئة مركزية أو أي شبكة مائية تتغير مقاومة الشبكة مع تغير تدفق الماء و تتبع للعلاقة التالية:

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = (\frac{M_1}{M_2})^2$$

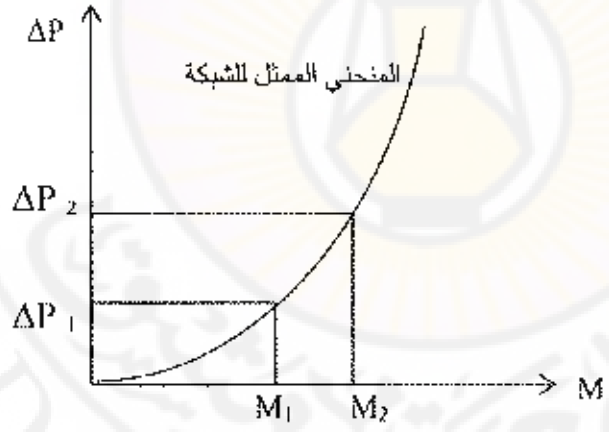
$$\Delta P_2 = \frac{\Delta P_1}{M_1^2} \cdot M_2^2$$

والمخطط البياني يبين علاقة التدفق مع مقاومة الشبكة. أي أن مقاومة الشبكة ΔP تتناسب مع مربع كمية التدفق M أي :

$$\Delta P_2 = a \cdot M_2^2$$

$$a = \frac{\Delta P_1}{M_1^2}$$ حيث :

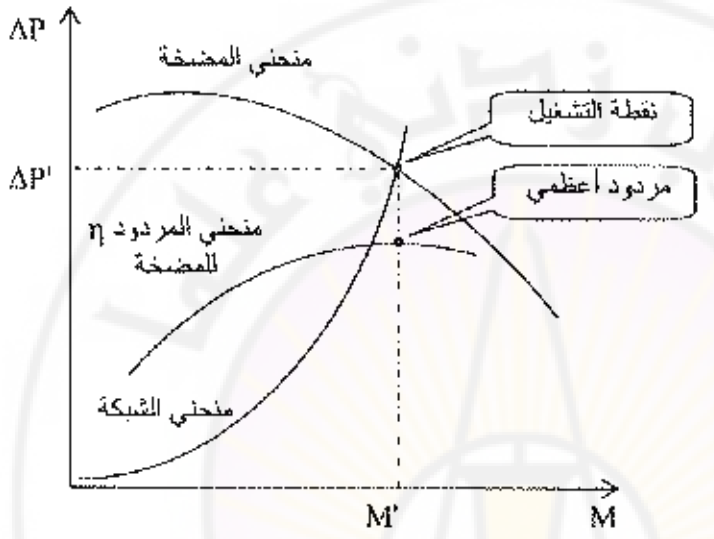
والعلاقة من الشكل $y = a \cdot x^2$



٦-١٥-٤ نقطة التشغيل :

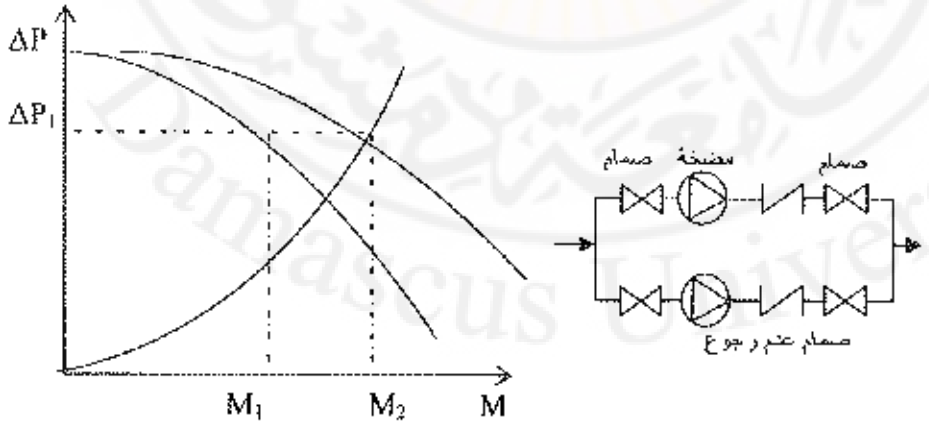
لإيجاد نقطة التشغيل يرسم المنحني الذي يمثل العلاقة بين التدفق والضغط لشبكة التدفئة والمنحني الممثل للعلاقة بين الضغط والتدفق للمضخة ونقطة التقاطع تمثل

نقطة التشغيل . يبين الشكل خط عمل المضخة وخط مقاومة الشبكة و نقطة التشغيل التي تمثل تقاطع المنحنيين، ويجب اختيار المضخة بحيث تكون نقطة التشغيل موافقة للمردود الأعظمي للمضخة

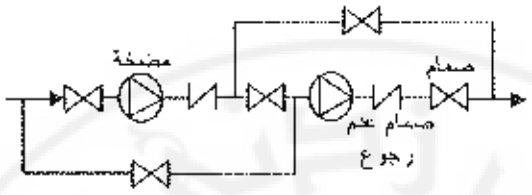


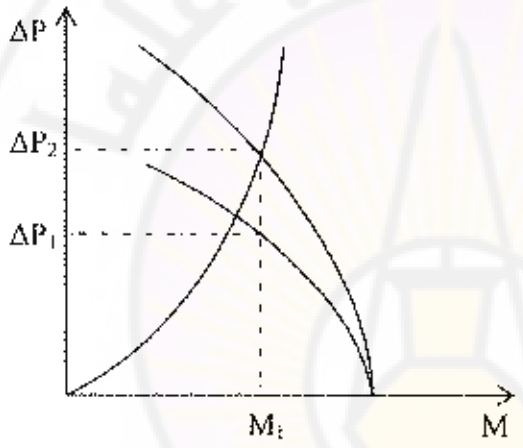
٦-١٥-٥ وصل المضخات:

يمكن أن يكون ربط المضخات على التفرع بقصد زيادة التدفق و ذلك حسب الشكل التالي:



يكون ربط المضخات على التسلسل بقصد زيادة الضغط و ذلك حسب الشكل التالي:





يبقى التدفق كما لو كان تدفق مضخة واحدة $M_1 = Const$ ويتضاعف الضغط

$$\Delta P_2 = 2 \cdot \Delta P_1$$

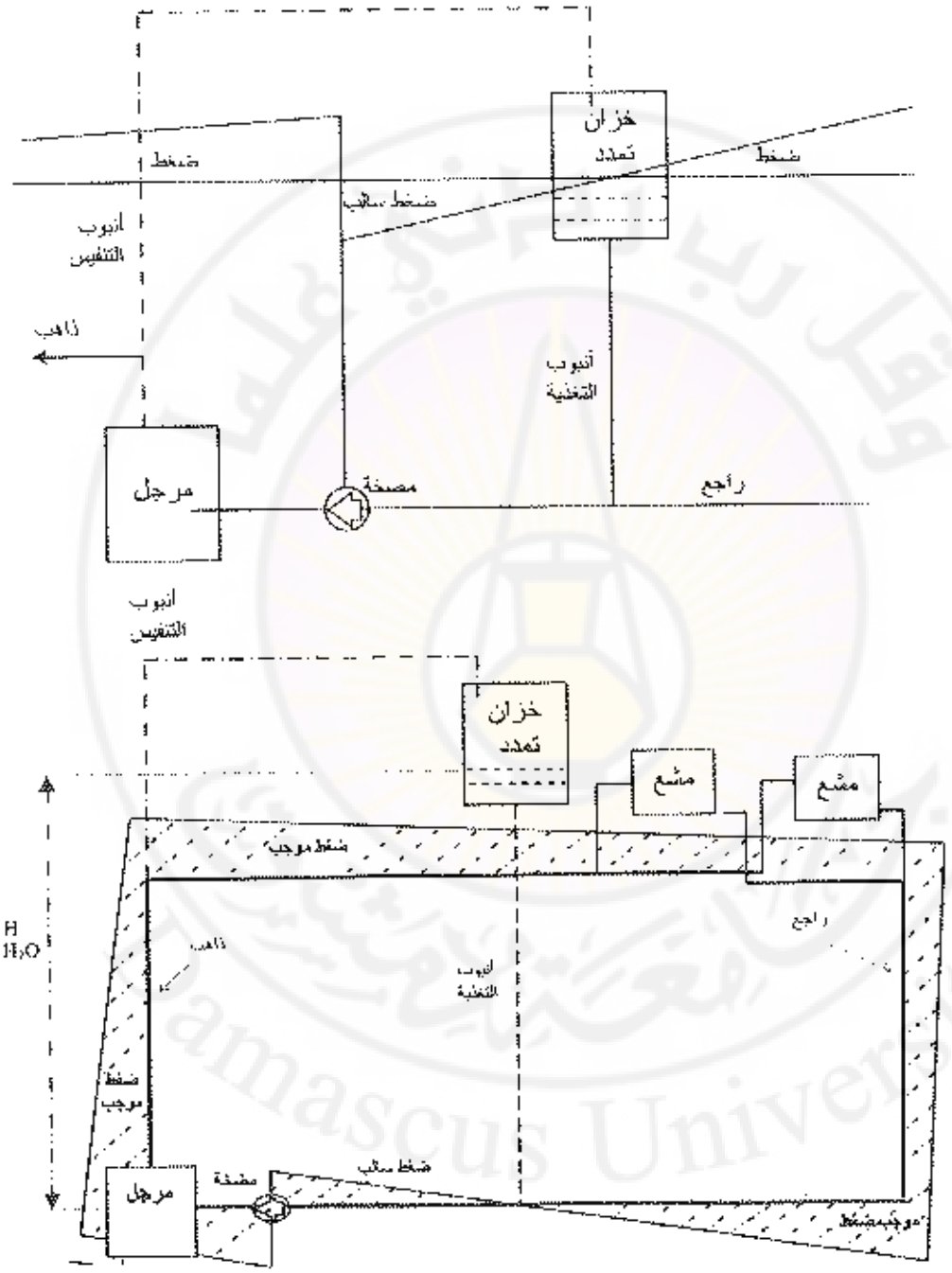
١٦-٦ وضع المضخة في الشبكة و علاقتها بخزان التمدد:

هناك اربع حالات لتوضع المضخة على الشبكة:

١- **الحالة الأولى A:**

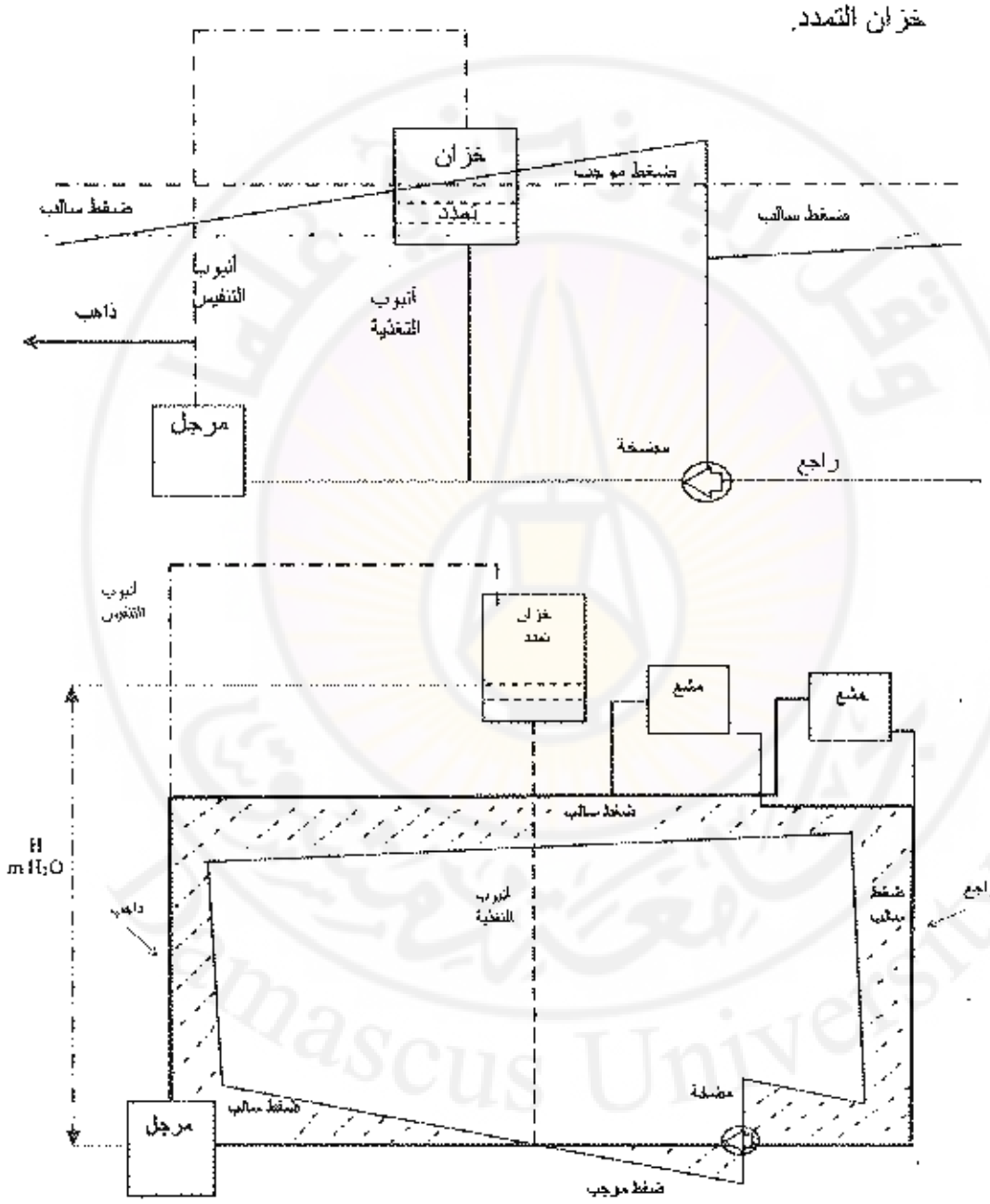
المضخة تقع بين خزان التمدد و المرجل و على أنبوب الراجع. يلاحظ أنه يجب رفع مستوى أنبوب التنفيس فوق مستوى الخزان، وذلك لمنع تدفق الماء منه نتيجة

ارتفاع الضغط فيه (و يلاحظ أن الشبكة تعمل بضغط مرتفع عندما تكون المضخة في وضعية العمل)



٢- الحالة الثانية B :

في هذه الحالة تقع المضخة على الأنبوب الراجع قبل خزان التمدد و التغذية، وفي هذه الحالة تعمل غالبية الدارة عند ضغط أخفض من الضغط الاستاتيكي الناتج عن خزان التمدد.

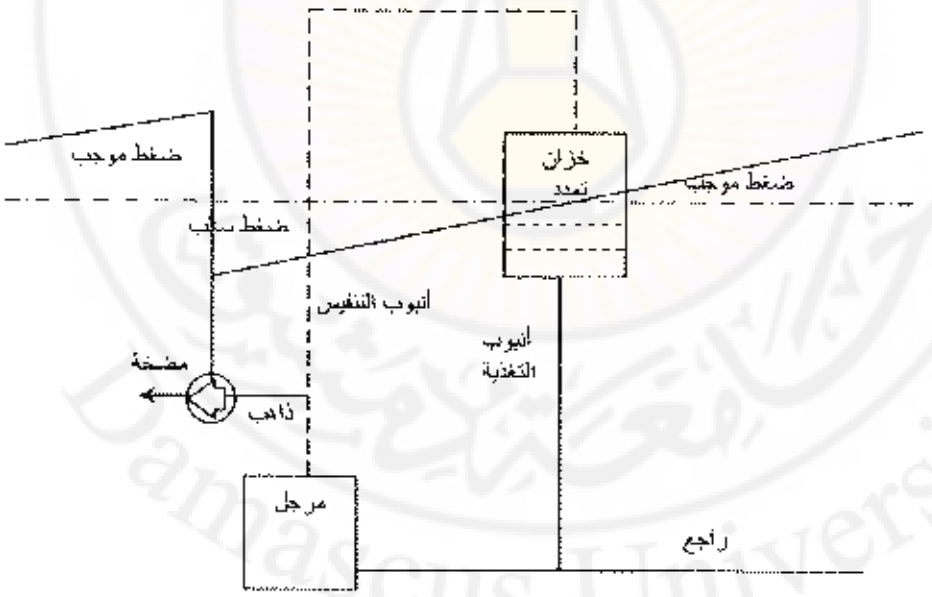


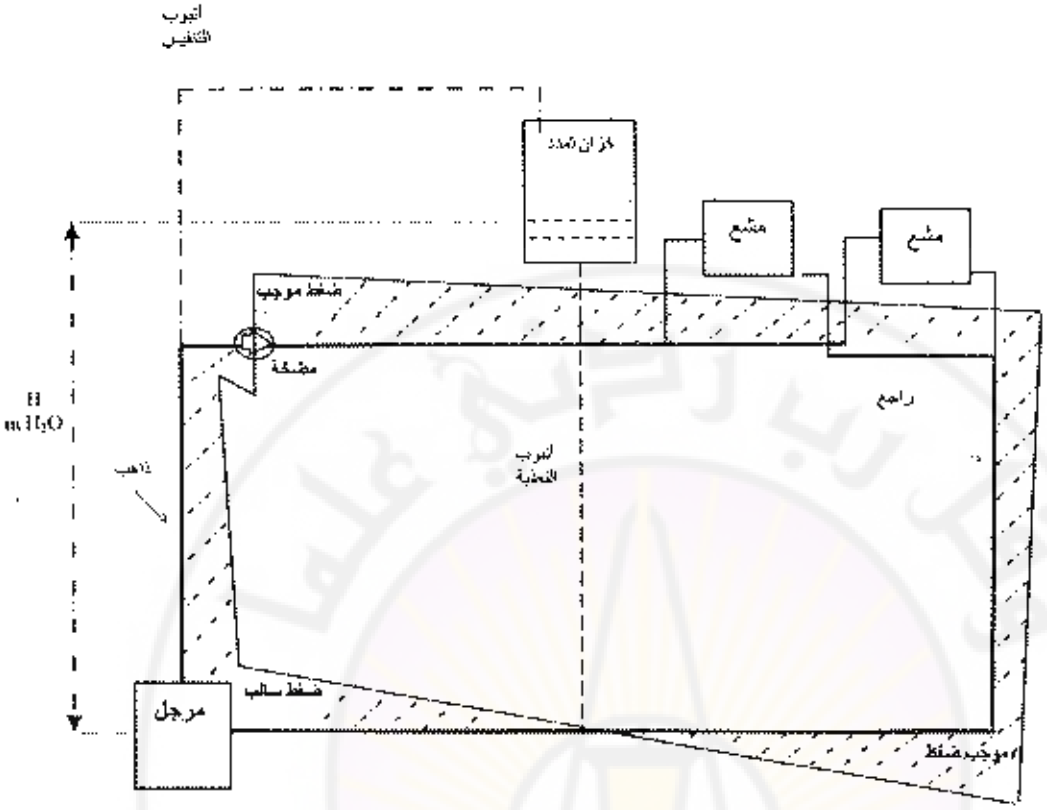
يجب الاحتراس من انخفاض الضغط في بعض المعدات إلى ضغط أقل من الضغط الجوي مما يؤدي إلى دخول الهواء إلى الشبكة، كما أن انخفاض الضغط في المرجل يمكن أن يؤدي إلى حدوث جيوب بخارية.

أما الحسنة الوحيدة لهذا الترتيب فهو عدم الحاجة لرفع مستوى أنبوب التنفيس إلى مستوى عالٍ.

٣- **الحالة الثالثة C :**

في هذه الحالة تقع المضخة على أنبوب التغذية (الذاهب) و بعد أنبوب التنفيس لهذا الوضع حسنات الوضع في الحالة A و لكن بدون الحاجة لرفع أنبوب التنفيس إلى مستوى أعلى من خزان التمدد كما في الحالة A

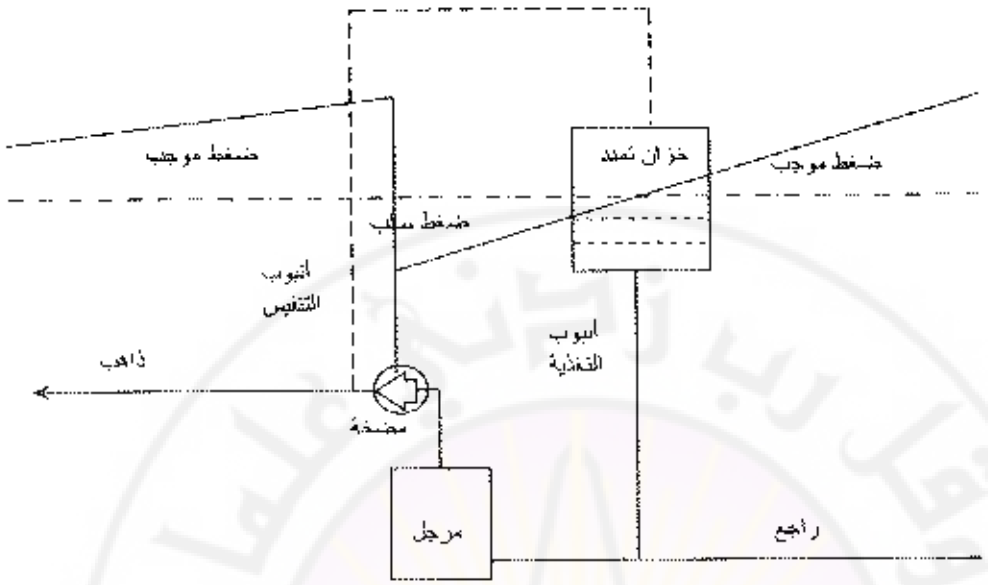


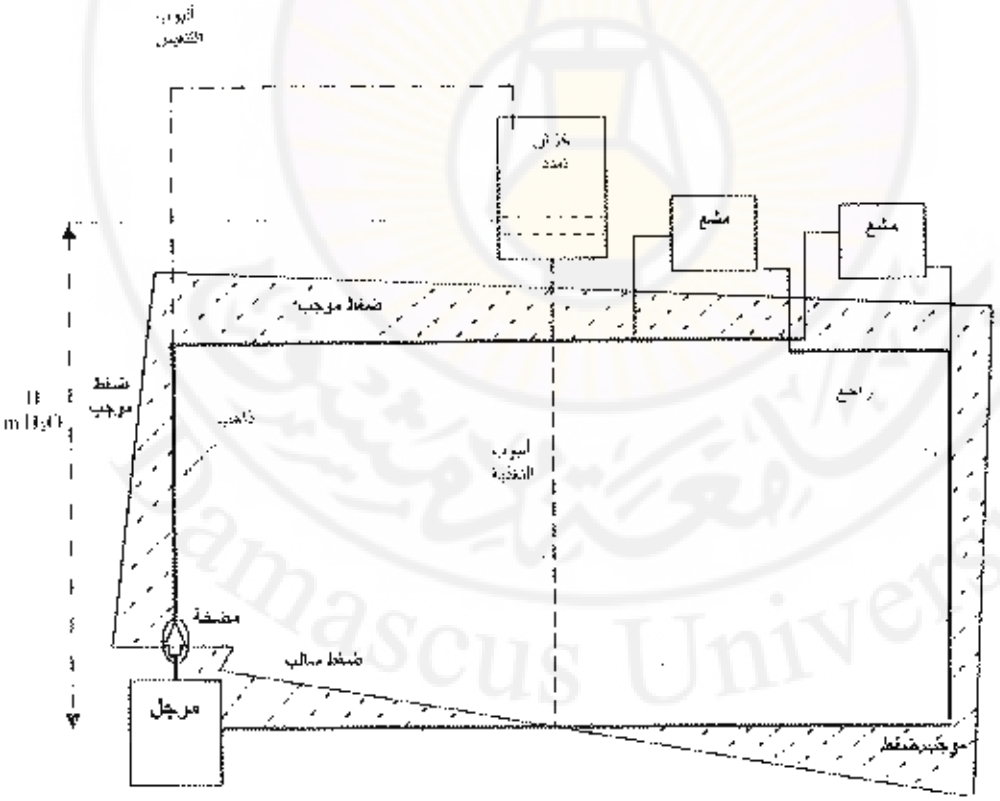


٤- **الحالة الرابعة (i :**

في هذه الحالة تقع المضخة على الأنبوب الذاهب بين المرجل و أنبوب التنفيس، ويشبه هذا الترتيب الوضع في C ولكن هنا يجب رفع أنبوب التنفيس إلى ارتفاع أعلى من مستوى خزان التمدد كي لا يتدفق الماء منه.

في غالبية الشبكات يفضل الوضع C، كما يمكن استعمال الوضع B و هنا يجب الانتباه إلى الضغط في جميع أنحاء الدارة.


ضغط موجب
خزان تمدد
ضغط موجب
ضغط سالب
انبوب التنفيس
انبوب التغذية
ذاهب
مضخة
مرجل
راجع


انبوب التنفيس
خزان تمدد
مشع
مشع
ضغط موجب
ضغط موجب
ذاهب
راجع
انبوب التغذية
مضخة
ضغط سالب
مرجل
موجب ضغط

الفصل السابع

التدفئة باستعمال مجموعة الضغط العالي

يسمى بدارة الضغط العالي ما هو أعلى من 2 bar أي أعلى من درجة حرارة 120°C، وفي دراستنا مجموعة الضغط العالي هي أي دارة يزيد الضغط فيها عن 2 bar .

٧-١ مميزات التدفئة باستعمال مجموعة الضغط العالي :

١. المجموعة مغلقة تماما

٢. جميع أنابيب الدارة تقع تحت ضغط معين

٣. يجب أن يكون الضغط الكلي في أي نقطة من المجموعة أعلى من ضغط الإشباع الموافق لدرجة حرارة الماء في المجموعة وذلك لمنع تشكل البخار في هذه النقاط

٤. يمكن زيادة الفرق في درجات الحرارة بين الذاهب والراجع 20°C إلى 40°C، وهذا يسمح باستعمال أقطار أنابيب ذات أقطار أصغر

مساوئها :

١. زيادة التكاليف التأسيسية نظرا للحاجة إلى مواد تتحمل ضغطا عاليا

٢. استعمال ماء تغذية بضغط عال

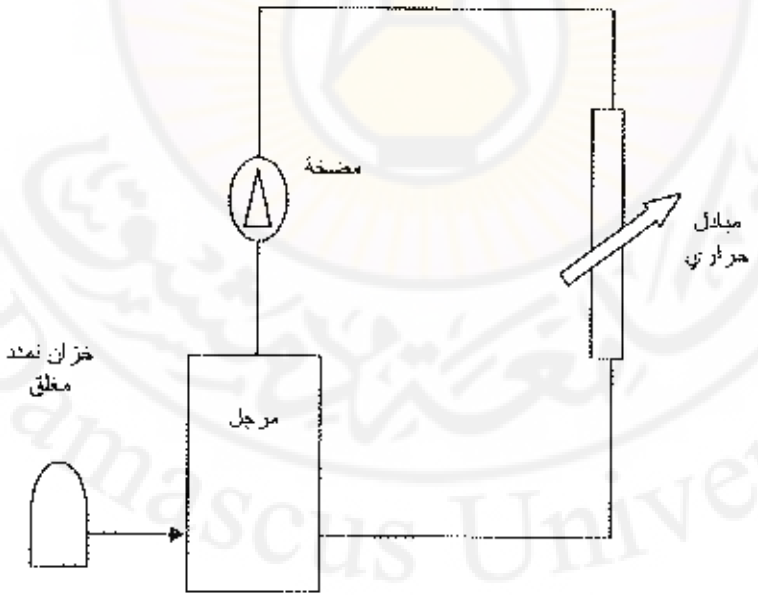
٣. ارتفاع درجة حرارة المبادلات

٤. يقتصر استعمالها على الصالات الكبيرة و الأماكن التي لا يسبب تسرب الماء بضغط عال إلى حوادث خطيرة

٧-٢ طرق توصيل خزان التمدد المغلق مع الدارة:

٧-٢-١ مجموعة الضغط العالي:

يبن الشكل دارة تدفئة بضغط عال وهي لا تختلف عن دارة الضغط المنخفض سوى في وضع ونوعية خزان التمدد



يمكن استعمال:

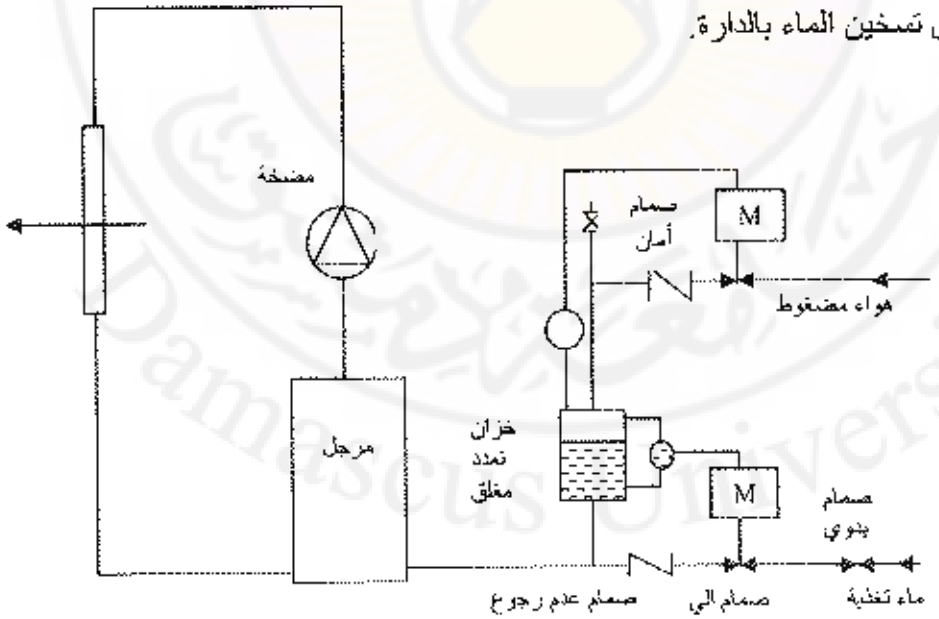
١. خزان تمدد مفتوح موضوع بمكان مرتفع بحيث يؤمن ضاغطا سكونيا مساويا للضغط المطلوب

٢. خزان تمدد مغلق يؤمن الضغط المطلوب مباشرة يوصل بالشبكة

٣. مرجل بخار يعطي الماء الساخن المضغوط بواسطة البخار المتشكل في المرجل و بذلك يعمل عمل خزان التمدد المغلق

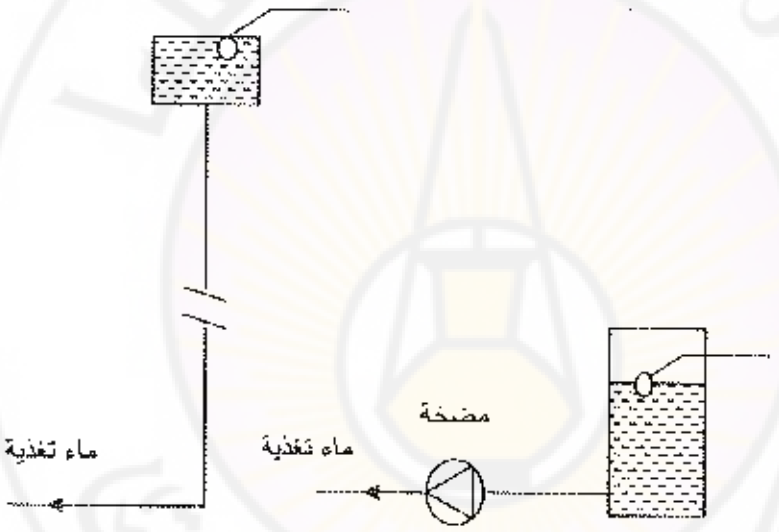
أمثلة على الطرق المتبعة في توصيل خزان التمدد:

١. يبين الشكل مخططا لتوصيل خزان تمدد مغلق مع المرجل. يستعمل أنبوب ماء التغذية عند تعبئة المجموعة بالماء البارد فقط وبعد ذلك يعمل صمام عدم الرجوع على منع عودة الماء من الأنبوب نفسه نتيجة زيادة الضغط الناتج عن تسخين الماء بالدارة.



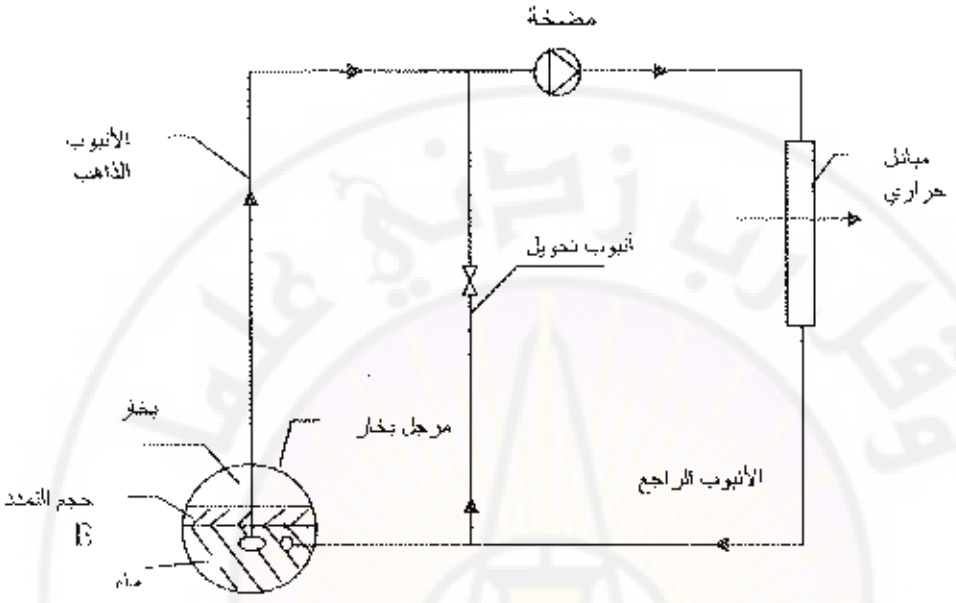
يمكن تحديد ضغط الهواء ضمن خزان التمدد بواسطة مضخة هواء وصمام عدم رجوع وصمام أمان معير على الضغط المطلوب.

٢. يمكن تأمين ماء التغذية من خزان مرتفع كما هو مبين في الشكل، أو مباشرة من ماء المدينة إذا كان ضغط هذه الشبكة أعلى من ضغط المجموعة المدروسة أو عن طريق مضخة تغذية تؤمن الضغط المطلوب كما هو مبين في الشكل.



يجب استعمال صمام عدم رجوع من مواصفات جيدة بحيث يمنع رجوع الماء من انبوب التغذية . وكذلك سكر عياري للضغط عند استعمال شبكة ماء المدينة لأن ضغطها غير ثابت. ودور الصمام هو المحافظة على ضغط أعظمي ثابت .أما السكر العادي البدوي فدوره إغلاق التغذية عند ضرورة تفريغ الشبكة لسبب الصيانة.

٣. باستعمال مرجل بخار يمكن تأمين دارة ماء ذات ضغط عال، كما هو مبين بالشكل الرمزي.



في هذه الطريقة يسمح للبخار بالتشكل بالمرجل و الضغط الناتج يعمل على ضغط الماء في المجموعة بحسب الطلب . يجب أن يكون تأثير الضغط الناتج عن ضغط البخار في المرجل على أي نقطة من المجموعة أعلى من الضغط الموافق لدرجة حرارة الإشباع للماء، ولتأمين ذلك لا بد من استعمال أنبوب تحويل من الخط الراجع إلى الخط الذاهب كما هو مبين في الشكل.

ويمكن أن يحدث انخفاض بالضغط في إحدى النقاط نتيجة مقاومة الاحتكاك أو بسبب انخفاض الضغط الساكن فيكون هناك خطر تشكل الجيوب البخارية،

ولتجنب ذلك يستعمل أنبوب تحويل من الخط الراجع إلى الخط الذاهب وذلك بغية تخفيض درجة حرارة الماء عند خروجه من المرجل لكي لا تحدث الجيوب البخارية وتعيق عمل المضخة .

وعلى أية حال يجب ان لا يقل معامل الأمان عن 10° C إلى 15°C تقريبا أي إن درجة حرارة الماء الذاهب أقل بـ 10° C إلى 15° C عن درجة حرارة الإشباع الموافقة للضغط العائد للنقطة ذات أخفض ضغط إجمالي.

٧-٣ دراسة تغير الضغط في نقاط الدارة :

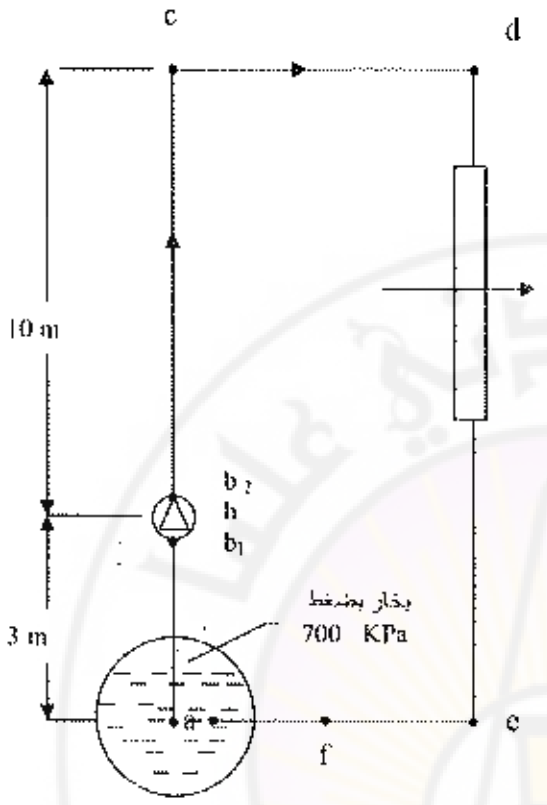
لنأخذ شبكة التدفئة بالماء الساخن ذي الضغط العالي المبينة بالشكل ونميز حالتين :

٧-٣-١ وضع المضخة على الخط الذاهب :

يمكن اعتبار واحد متر ماء ارتفاع يعادل عشرة كيلو باسكال وذلك لتسهيل الحسابات . أي $m = 10\ kPa$ ماء تقريبا، لتحديد الضغط في كل نقطة من الدارة لا بد من أخذ الاعتبارات التالية :

١- ضغط البخار ثابت في المرجل ويؤخذ هذا الضغط على أنه ممثل لخط الأساس . حيث يقاس الضغط في جميع أجزاء الشبكة بالنسبة لهذا الضغط.

٢- تعتبر كثافة الماء ثابتة ولها قيمة وسطية محددة.



المقاومة KPa	الأنبوب
1.5	a b
5.0	b c
3.0	c d
7.0	d e
1.5	e f
1.5	f a
19.5	المجموع

وسيعتمد لإيجاد قيمة الضغط المحصل في كل نقطة من الدارة طريقة جمع الضغوط المطبقة على كل نقطة بالطريقة البيانية كما مبين بالشكل، باعتبار أن كل نقطة من الدارة تخضع لحصيلة ثلاثة ضغوط وهي :

١- ضغط البخار في المرجل والذي سوف يعتبر كأساس للرسم .

٢- الضغط السكوني للماء عند النقطة المعينة .

٣- الضغط المتبقي للمضخة عند تلك النقطة .

طريقة الحل البيانية للمثال الموضح أعلاه :

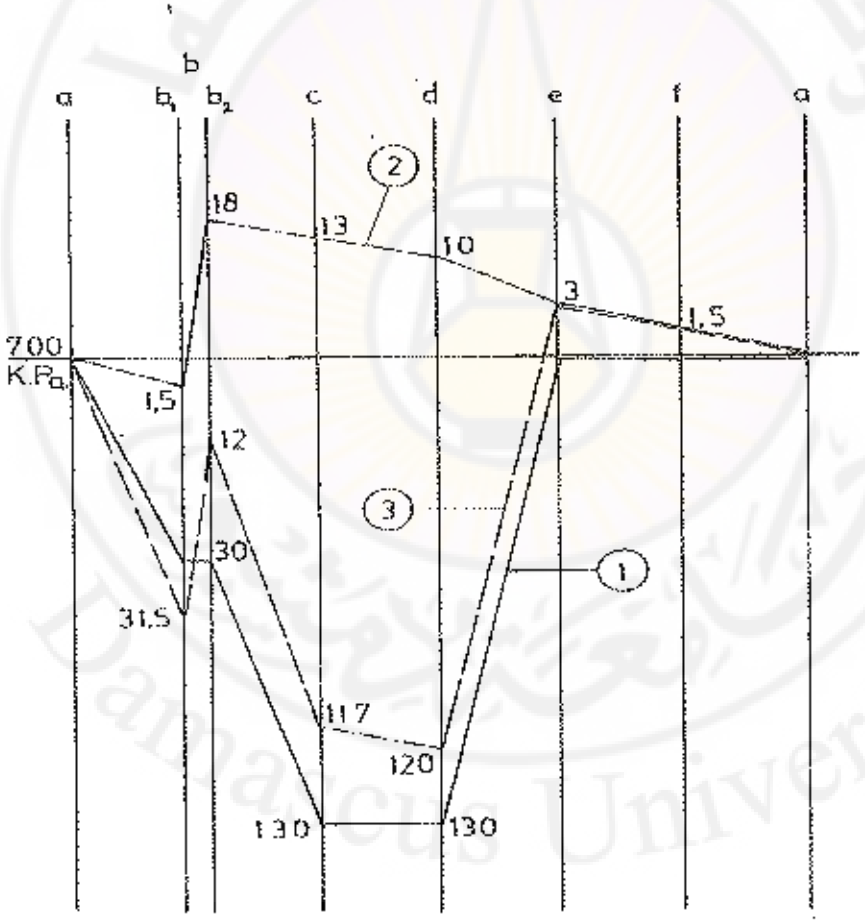
يتم الرسم بحسب الخطوات التالية :

١- رسم خط الضغط الساكن الناتج عن وضع النقطة بالدارة .

٢- رسم الخط المماثل لمقاومة الدارة عندما تكون المضخة شغالة

٣- بجمع الخطين جبريا نحصل على المحصلة .

يبين الشكل التالي الحل البياني للمثال المذكور :



يظهر من خط المحصلة أن الضغط أصغر ما يكون عند النقطة (d) والضغط عند هذه النقطة يساوي :

$$700 - 120 = 580 \ (k\ Pa)$$

درجة حرارة الغليان الموافقة لهذا الضغط توافق تقريبا : (157.5)وباخذ معامل أمان لمنع تشكل البخار ومقداره (10 °C)

فنحصل على درجة حرارة الماء المسموح بها وتساوي

$$157.5 - 10 = 147.5\ °C$$

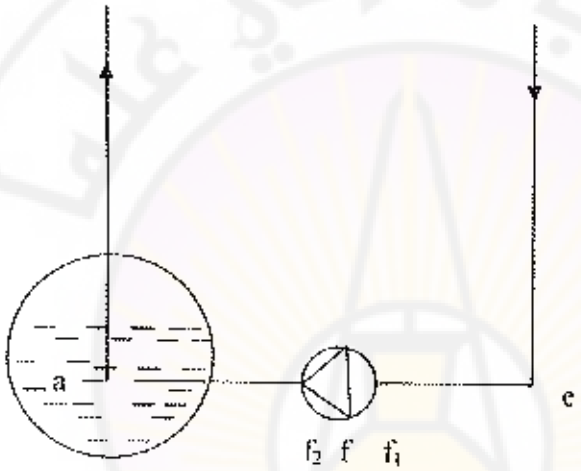
وعلى فرض أن المضخة توقفت عن العمل فإن الضغط في كل نقطة من الدارة هو الضغط السكوني. وأصغر ضغط في هذه الحالة عند النقطة (d) و (C) يساوي:

$$700 - 130 = 570 \quad (k\ Pa)$$

ودرجة حرارة الغليان الموافقة لهذا الضغط توافق تقريبا : (157) وهذه الدرجة لا تزال أعلى من (147.5)المعتمدة في التصميم وبذلك لا يحدث غليان ولن تتشكل جيوب بخارية.

٧-٣-٢ وضع المضخة على الخط الراجع :

لننقل المضخة على الخط الراجع ولنضعها في النقطة f من الدارة السابقة ولنترك جميع المعطيات كما هي تماماً . يصبح وضع المضخة كما في الشكل المبين :



باعتماد الخطوات السابقة نفسها يمكن رسم :

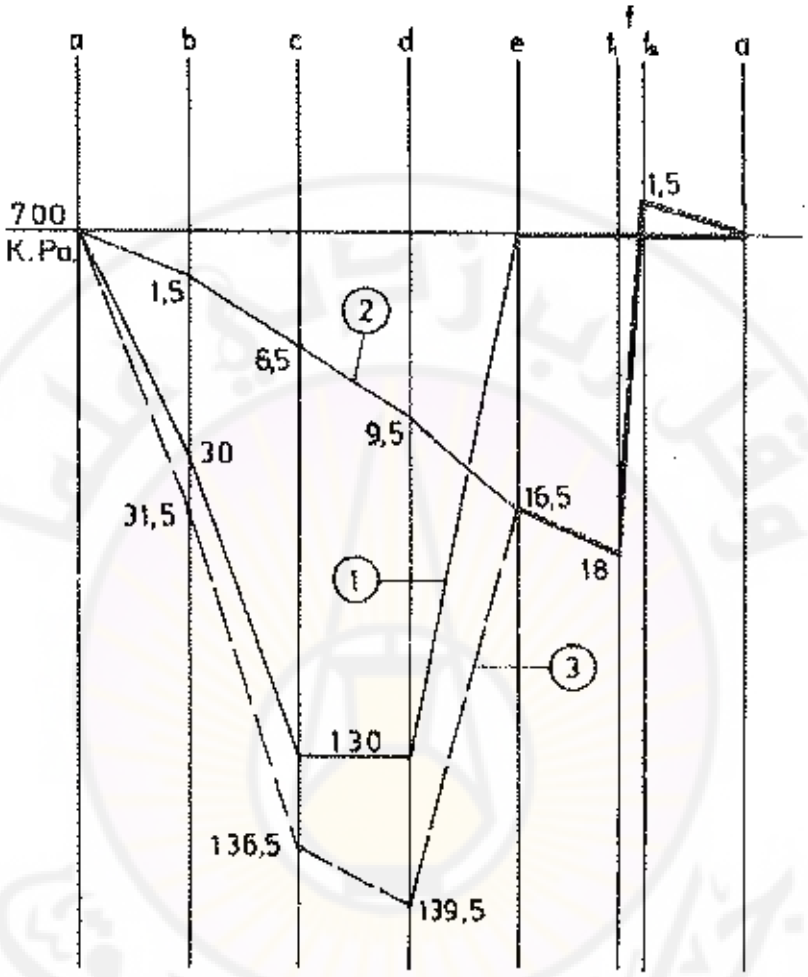
١ـ خط الضغط الساكن .

٢ـ خط المقاومات عندما تكون المضخة شغالة

٣ـ وبجمع الخطين نحصل على الضغط المحصل في كل نقطة

واضح من المخطط البياني أن اقل ضغط هو عند النقطة (d) و يساوي

$$700-139.5 = 560.5 \text{ (k Pa)}$$



ودرجة حرارة الغليان الموافقة لذلك هي (156°C)

و باخذ معامل أمان قدره (10 °C) لمنع تشكل البخار فنحصل على درجة حرارة الماء المسموح بها، وتساوي 156 – 10 = 146 °C و على فرض أن المضخة توقفت عن العمل فان الضغط الأصغري يكون كما في الحالة السابقة عند

النقطة (d) و (c) ويساوي (570 kPa) المطابق ل (157)، وبهذه الحالة يزداد الأمان أو الفرق بين درجة الغليان و درجة التصميم المعتمدة .

يتبين مما سبق أن درجة الحرارة المسموح بها عندما تكون المضخة على الخط الذاهب هي (147.5°C)، وعندما تكون المضخة على الخط الراجع (146°C) أي أن هناك انخفاض في درجة الحرارة المسموح بها و يساوي (1.5°C) مع ملاحظة أن جميع المعطيات الأخرى بقيت ثابتة .

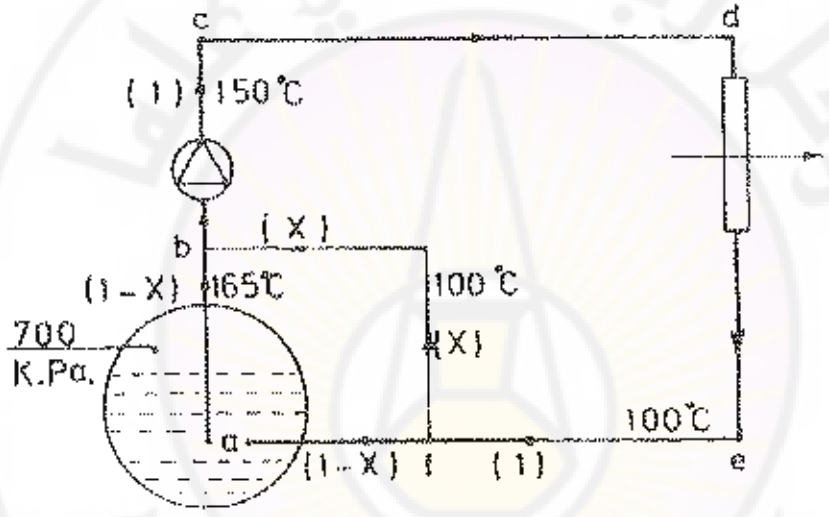
في أغلب الحالات وخصوصا عندما يكون ضغط المضخة صغيرا جدا بالنسبة لارتفاع الشبكة او الضغط السكوني في الشبكة فإنه يمكن اعتماد خط الضغط السكوني و تصميم درجة الحرارة المسموح بها بموجبه بعد اعتبار عامل أمان لا يقل عن (10 - 15°C) .

يمكن تطبيق ذلك على المثال المذكور أعلاه للمقارنة .

٤.٧ دراسة كمية الماء المتحول عن المرجل :

نلاحظ أن الحالات السابقة تتطلب تخفيض درجة حرارة الماء الخارج من المرجل كي لا تشكل الجيوب البخار ولمنع الغليان في الشبكة وهكذا يحتاج كما ذكرنا سابقا إلى خط تحويل للماء من الخط الراجع إلى الذاهب، وبحسب درجة الحرارة المطلوبة يمكن دراسة كمية الماء في خط التحويل هذا

نفرض أن درجة الحرارة المسموح بها في الشبكة هي 150°C وانخفاض درجة الحرارة في المبادل الحراري هي 50°C والاستطاعة المتوافرة في المبادل الحراري هي (20000 kW) يمكن أن نحدد كمية الماء الراجع الذي يجب أن يمر من فرع التحويل بدون أن تدخل المرجل وذلك بغية المحافظة على شروط المجموعة المبينة بالشكل



حيث المضخة على الخط الذاهب واعتبار ضغط المرجل (700kPa)

من الجداول يمكن تحديد قيمة الأنتالبي الموافق لكل من درجات الحرارة والضغط للنقاط المدروسة

$$700\ kPa \leftrightarrow 697.1\ kJ/kg \leftrightarrow 165°C$$
$$632\ kJ/kg \leftrightarrow 150°C$$
$$419.06\ kJ/kg \leftrightarrow 100°C$$

نأخذ علاقة التوازن الحراري في النقطة (b) للماء الذاهب فيكون :

$$(x)\times 419.06 + (1-x)\times 697.1 = (1)632.2$$
$$(x)\times 419.06 - (x)\times 697.1 = 632.2$$
$$(x)\times 278.04 = 64.9$$

نسبة الماء المتحول عن المرجل

$$x = \frac{64.9}{278.04} = 0.234$$

أي أن كمية الماء المار في خط التحويل (23.4%) من مجموع الماء المار في المبادل الحراري .

معدل تدفق الماء في الشبكة بدلالة الحمل المطلوب للمبادل الحراري:

كمية الماء المار بالمبادل

$$M_1 = \frac{20000\ kW}{(632.2 - 419.06)\ kg/J} = 93.84\ kg/s$$

كمية الماء المتحول عن المرجل

$$M_x = 93.84 \times 0.234 = 21.96\ kg/s$$

كمية الماء المار بالمرجل

$$M_{(1-x)} = 93.84 - 21.96 = 71.88\ kg/s$$

وهكذا نحصل على تدفق الماء في كل أجزاء الشبكة.

الفصل الثامن

التدفئة باستعمال البخار

Steam Heating

٨-١ مقدمة :

ينتج البخار عن غليان الماء، فعندما يغلي الماء يمتص الحرارة الكامنة للتبخر، ثم يتمدد إلى حوالي 1600 مرة عن حجمه الأصلي، وذلك تحت تأثير الضغط الجوي. يستفاد من الحرارة الكامنة للبخار فقط في تقديم الحرارة اللازمة للمبادلات الحرارية. حيث يتحول البخار إلى ماء بعد أن يعطي حرارته الكامنة، ومن ثم يعاد البخار المتكاثف (الماء) إلى المرجل ليعاد تحويله إلى بخار ثانية

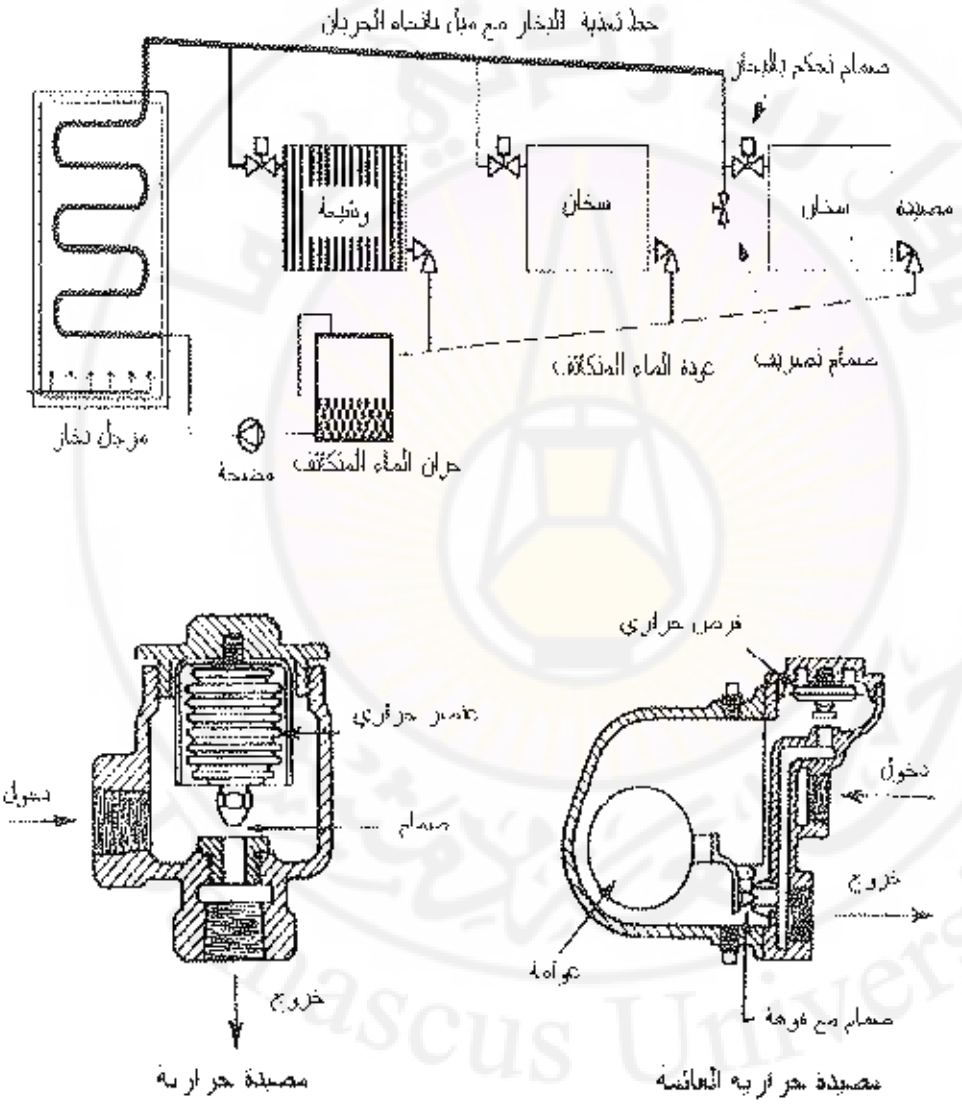
يلاحظ أن المعامل هي أكثر الأماكن التي تستعمل البخار للتدفئة، وذلك لتوفر هذا البخار من العمليات الصناعية التي تحتاج للبخار. يعتبر البخار من الأجسام الملائمة لحمل الحرارة إذ إنه يعطي عندما يتكاثف حرارة التبخر الكامنة التي يحملها عند درجة حرارة أعلى بشكل ملحوظ من درجة حرارة الغرف المطلوب تدفئتها ، لذا يمكن حمل كميات كبيرة من الحرارة بواسطة كميات صغيرة من المائع. تلائم طريقة التدفئة بالبخار الأبنية الكبيرة نظرا لقوة جريانه ورخص كلفة تأسيسه نسبيا ولإمكانية حمله كمية كبيرة من الحرارة .

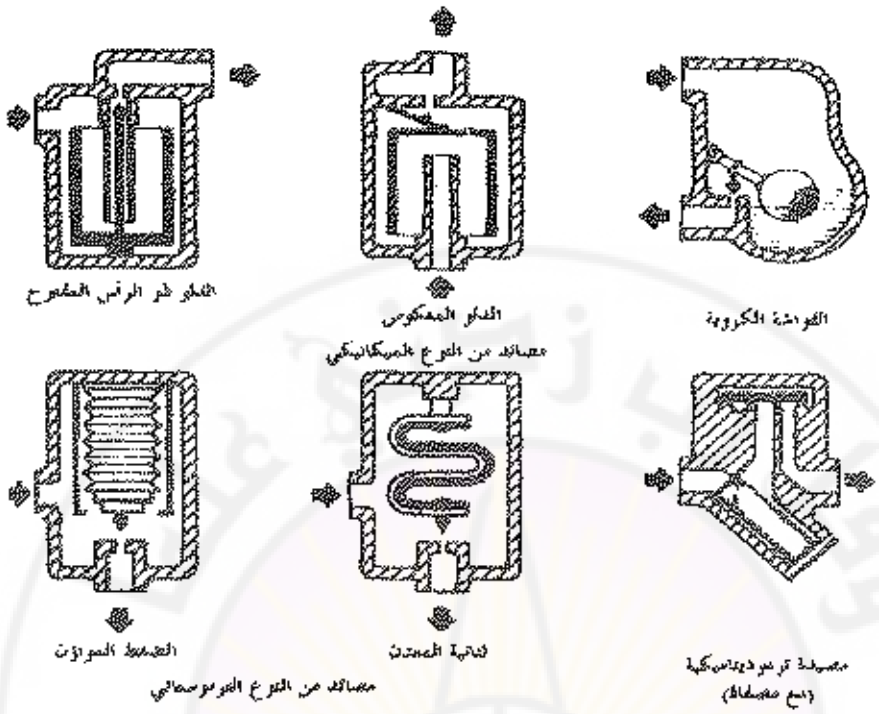
يوضح الشكل العناصر الأساسية لدارة بخار صغيرة:

حيث يتم ضخ الماء المتكاثف بعد أن يطلق حرارته الكامنة في المبادلات الحرارية إلى المرجل ليغلي ثانية ويتحول إلى بخار.

يتم جمع الماء المتكاثف في أسفل المبادل الحراري، ويتم تصريف الماء عبر استخدام مصيدة للبخار. مهمتها حجز البخار، بينما تسمح للماء المتكاثف

بالانتقال من دارة البخار ذي الضغط الأعلى إلى أنبوب الرجوع ذي الضغط الأقل. يتم تشغيل مصيدة البخار إما بشكل حراري أو بالطفو.





٨-٢ المصيدة التي تعمل حرارياً وبالتعويض:

تستخدم هذه المصيدة المتعددة الاستعمال الماء المتكاثف ذا الكثافة العالية لتجعل الجسم الذي يطفو يفتح المصيدة لإخراج كميات كبيرة من الماء المتكاثف الناتج في فترات التشغيل

في معظم الأنظمة ينتقل الماء المتكاثف تحت تأثير الجاذبية الأرضية إلى خزان الماء المتكاثف، وكنتيجة للتناقص الكبير لحجم الماء المتكاثف فإن أنبوب عودة الماء المتكاثف يكون ذا قطر أصغر من أنبوب تزويد البخار.

بغض النظر عن نوع المصيدة المستخدمة فإن الماء المتكاثف الراجع يتم ضخه إلى المرجل لكي يغلي ويتحول إلى بخار مرة ثانية.

إن الماء الذي يتم ملؤه بداية بالإضافة إلى الماء المضاف إلى مرجل البخار يجب أن تتم معالجته لإزالة الأكسجين والمواد الكيميائية المؤذية، والتي يمكن أن تسبب تآكل خطر في المرجل والأنابيب.

إن إضافة هذه المواد الكيميائية يعني أن الماء الموجود في الدارات هو ماء غير صالح للشرب وغير مناسب للاستهلاك البشري.

وكنتيجة لذلك فإن البخار الصادر عن دارات نقل الحرارة هو بخار غير مناسب لضخه في الهواء من أجل عملية زيادة الرطوبة.

ومع ذلك فإن بخار التسخين يمكن أن يتم استعماله للتبخير غير المباشر للماء الصالح للشرب وذلك من أجل عملية الترطيب.

وبسبب أن البخار كثافته منخفضة وبسبب قدرته على الانتقال عبر الدارة بنفسه فإنه يُعتبر مثالياً للاستخدام في المباني الطويلة.

تصنف أنظمة التدفئة بالبخار طبقاً إلى ضغط بخار الماء إلى :

٨-٣ أنظمة التدفئة ببخار الماء ذي الضغط المنخفض:

يصل ضغط بخار الماء في مثل هذه الدارات إلى 1.5bar ودرجة حرارة البخار بحدود 110°C

٨-٤ أنظمة التدفئة ببخار الماء ذي الضغط المرتفع :

عندما يكون ضغط بخار الماء أعلى من 1.5 bar فإن درجة حرارة البخار تكون أعلى من 110°C . تستعمل هذه الطريقة للتدفئة في المصانع ويفضل الا يزيد ضغط بخار الماء عن3bar ويفضل استعمال صمام تعديل يخفض الضغط لغاية 3bar كما يجب تركيب مصيدة بخار بعد كل جسم مشع

عند استعمال البخار بضغط منخفض يمكن استعمال مشعات الفونت والمشعات الحملية ووحدات التدفئة.

عند استعمال البخار بضغط عال يسمح باستعمال جميع المبادلات الحرارية عدا المشعات العادية.

الصفات الإيجابية للبخار وهي:

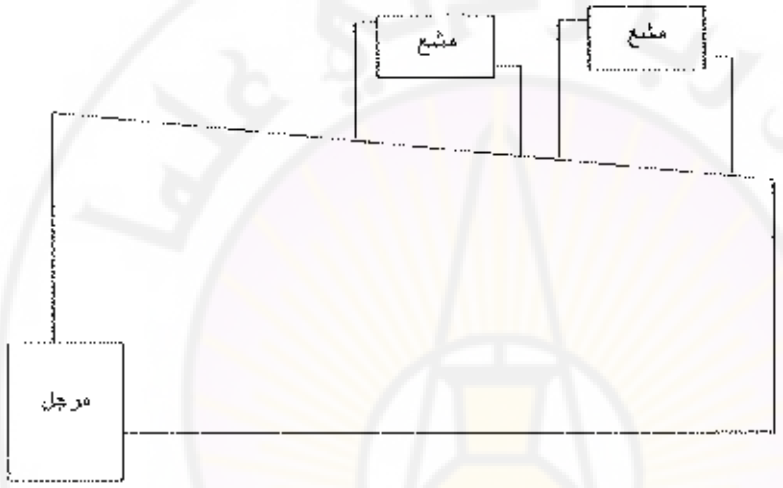
- قدرة عالية على نقل الحرارة.
- لا يوجد حاجة لاستخدام المضخات.
- السهولة في إضافة أحمال بسبب قابلية الدارة للضبط من أجل موازنة الأحمال.

٨-٥ دارات البخار:

دارات بأنبوب واحد و أخرى بأنبوبين

٨-٥-١ دارة بأنبوب واحد:

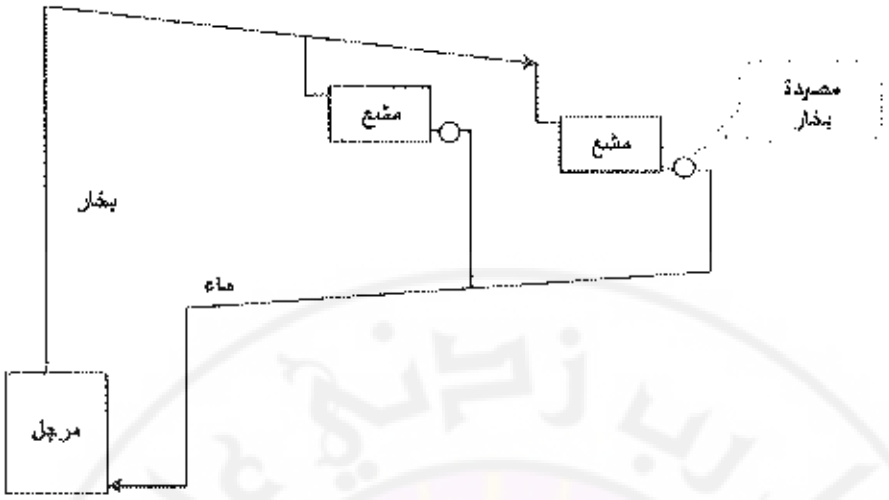
يخرج البخار من المرجل و يذهب إلى المشع حيث يتكاثف طارحا حرارة الكامنة، ويعود إلى الأنبوب الرئيسي ثم إلى المرجل. يسير الماء المتكاثف مع البخار في أنبوب واحد لذلك ينحصر استعمال هذه الطريقة على المجموعات الصغيرة ذات المشعات المحدودة.



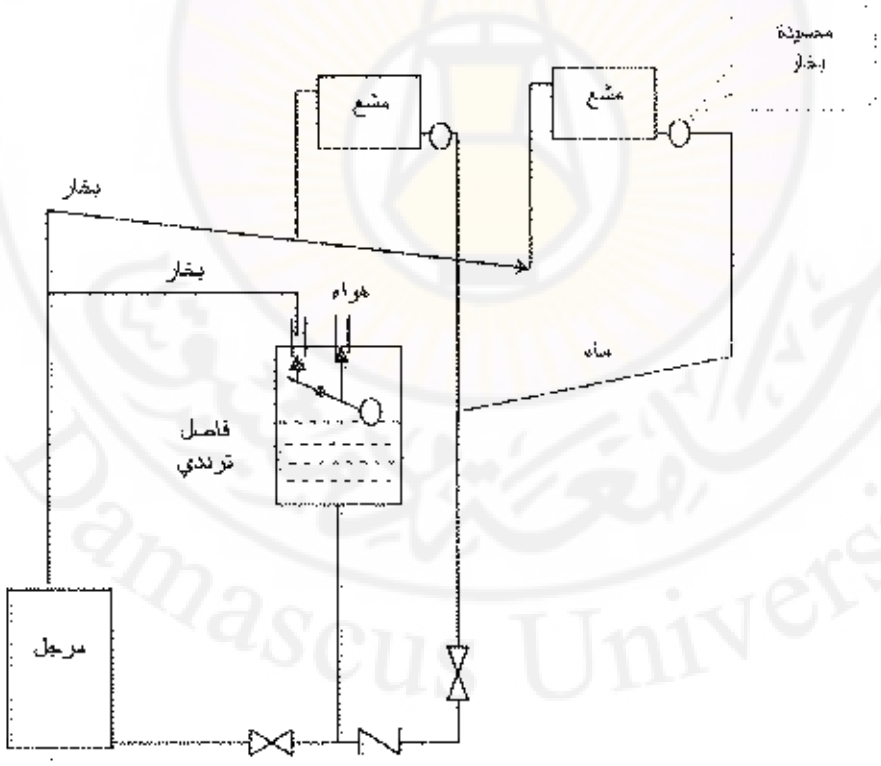
تعطى الدارة ميلا باتجاه المجريان للذاهب و الراجع مقداره (0.01)

٨-٥-٢ دارة بأنبوبين:

تحتوي هذه الدارة على أنبوب للبخار و أنبوب للماء الراجع المتكاثف من المشعات. يركب مصيدة للبخار على الأنبوب الخارج من المشع بحيث تسمح للماء فقط بالمرور وتمنع البخار. يتم جريان البخار بالاستفادة من الضغط المتوافر بالمرجل و يعود الماء المتكاثف أيضا نتيجة هذا الضغط، ولكن لا يمكن أن يدخل الماء إلى المرجل بدون رفع ضغطه إلى ضغط أعلى من ضغط المرجل، لذلك يستعمل مضخات تعويض و تغذية لماء المرجل.



يمكن الاستفادة من ضغط البخار لإدخال الماء إلى المرجل و ذلك حسب الشكل المبين.



٨ـ ٦ مجموعة البخار العادم:

في هذه المجموعة يتم استعمال البخار العادم الخارج من الآلات و العنفات البخارية في أعمال التدفئة، وذلك عن طريق استعمال مبادل حراري (بخار- ماء) أو بإمرار البخار مباشرة في دارة التدفئة. و في كلتا الحالتين يجب التأكد من أن ضغط البخار لا يتجاوز ضغط العادم المسموح به، و يتم ذلك بوضع صمام على خط العادم الرئيسي.

٨ـ٧ استعادة و استعمال البخار الفلاش

تحتاج بعض العمليات الصناعية على بخار بدرجة حرارة مرتفعة و بالتالي بخار بضغط عال.

يستفاد من الماء المتكاثف ذو الحرارة المرتفعة و الضغط العالي بشكلين:

١ـ إمرار الماء المتكاثف في مبادل حراري و إخراج الماء من هذا المبادل بدرجة حرارة منخفضة

٢ـ إمرار الماء المتكاثف على وعاء ذي ضغط منخفض لاستعادة البخار الفلاش بتبخير جزء من الماء ذي الحرارة المرتفعة و ذلك لتجنب ضياع الحرارة إلى الجو.

ينتج البخار من تبخر الماء ذي الضغط العالي و درجة الحرارة المرتفعة عندما يطرح الماء إلى الجو أو إلى منطقة ذات ضغط أخفض من ضغط الأشياع.

مثلا بخار بضغط 800kPa بوضع الأشياع تكون الحرارة الموافقة لهذا الضغط و الانثالبي كما يلي:

170.4 °C و 720.9 kJ/kg

و عند خروجه إلى الضغط الجوي 100kPa يكون بدرجة حرارة 99.63 °C و انثالبي 417.5 kJ/kg

لذا فإنّ الفائض في الانثالبي يكون:

720.9-417.5=303.4 kJ/kg

حرارة التبخر عند الضغط الجوي

2257.7 kJ/kg

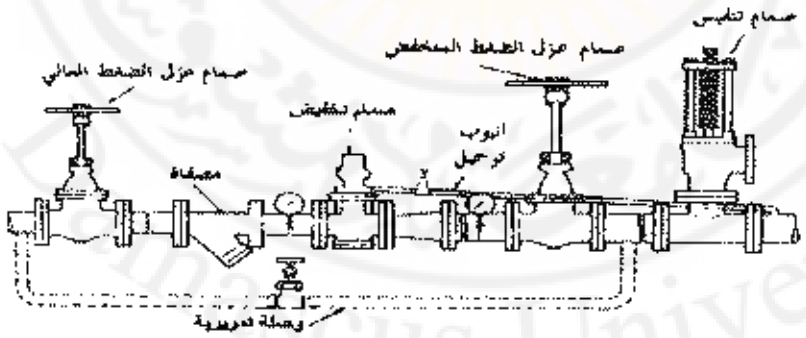
كمية البخار الفلاش المتشكل

$$\frac{303.4}{2257.7} = 0.134 \ kg$$

يستفاد من البخار الفلاش في المجموعات التي تحتاج إلى بخار بضغط عالٍ و أخر بضغط منخفض.

٨-٨ دراسة شبكة الأنابيب المستعملة للبخار:

يتوقف اختيار ضغط البخار على طبيعة العمل المطلوب و مسافة نقل البخار، و على هذا الضغط تستند حسابات أقطار الأنابيب اللازمة للشبكة.



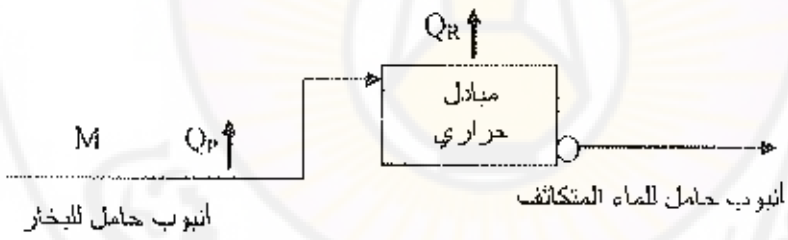
مجموعة تخفيض ضغط البخار

- يمكن استعمال بخار بضغط عالٍ و توزيعه عند هذا الضغط، واستعمال صمامات تخفيض الضغط عند الدارات الفرعية. و هكذا يمكن تطبيق انخفاض ضغط كبير من استعمال أقطار أصغر إلا أن معدات الضغط العالي أكثر كلفة.
- توليد البخار عند الضغط المطلوب للمبادلات الحرارية مضافا إليه الضغط اللازم للتغلب على الاحتكاك في الأنابيب. و هذه الطريقة تناسب دارات و تجهيزات بضغط منخفض.

يندفع البخار نتيجة التقلص الحجمي الناتج عن تكاثف البخار مما يوفر استعمال مسرعات لوسيط التسخين كما في دارات الماء الساخن.

٨-٩ حساب أقطار أنابيب التدفئة بالبخار

لحساب أقطار الأنابيب نحتاج إلى ما يلي :



١- ضغط البخار الأصلي عند المرجل و الضغط النهائي عند المبادل الحراري و درجة حرارة و نوعية البخار.

٢- معدل تدفق البخار و الضياع الحراري من الأنابيب.

٣- الطول الإجمالي للأنابيب (الذاهب و الراجع و المقاومات).

٤- انخفاض الضغط المسموح به في الأنابيب (و ذلك لواحدة الطول).

٥- سرعة تدفق البخار المسموح بها في الأنابيب.

يحسب تدفق البخار من العلاقة التالية :

$$M = \frac{Q_1 + Q_2}{h_1 - h_2}$$

و القطر الداخلي للأنبوب بالعلاقة :

$$d = \sqrt{\frac{4 \times M \times v}{\pi \times V}}$$

حيث:

v - الحجم النوعي

V - سرعة جريان البخار

و الجدول التالي يبين بعض القيم:

نوع البخار	السرعة m/s
بخار مشبع	40
بخار محمص	60 - 40
بخار عادم رطب	30
بخار فلاش	15
مخرج المرجل	10 - 6
مجمع المرجل	25 - 10
دارة بأنبوب صاعد	10 - 5
دارة بأنبوبين صاعدين	12 - 6
أنبوب أفقي جريان البخار باتجاه جريان الماء	25 - 10

في حال مجموعات صغيرة تؤخذ السرعة 25m/s

يمكن تحدي أقطار أنابيب البخار المتكاثف من الجدول التالي :

أقطار أنابيب البخار المتكاثف (من الحديد الأسود المسحوب)									انخفاض الضغط	
100	80	65	50	40	32	25	20	15		
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	Pa	mm H2O
4"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1 1/4"	1"	3/4"	1/2"		
كمية البخار المتكاثف Kg/h										
6000	3000	1300	910	450	300	130	60	22	5	0.5
9000	4380	2700	1330	680	450	200	100	38	10	1
13000	6380	3900	1940	980	640	290	145	55	20	2
16250	7900	4900	2400	1220	780	360	180	75	30	3
18950	9200	5700	2800	1430	910	420	210	85	40	4
21300	10400	6400	3150	1600	1000	470	240	95	50	5
23500	11450	7100	3500	1750	1140	520	260	101	60	6
25800	12500	7750	3800	2000	1245	570	290	108	70	7
27500	13480	8250	4050	2080	1300	610	310	112	80	8
29300	14250	8800	4350	2210	1450	650	330	118	90	9
31000	15100	9350	4600	2300	1550	690	350	122	100	10
38550	18750	11600	5700	2900	1780	850	430	148	150	15
45000	21950	13550	6690	3400	2000	1000	500	175	200	20
50800	24500	15300	7500	3800	2400	1130	570	200	250	25
56000	27300	16950	8300	4200	2670	1250	630	228	300	30
61000	29800	18400	9000	4600	2900	1300	680	256	350	35
65000	31000	19500	9700	4900	3020	1400	720	300	400	40

دراسة أقطار أنابيب البخار المتكاثف من الأجهزة التكنولوجية عند انخفاض ضغط 60 Pa/m

دراسة أقطار أنابيب أجهزة التعقيم عند ضغط 3bar وسرعة 40m/s

دراسة أقطار أنابيب الأجهزة التكنولوجية عند ضغط (حسب التكنولوجي) و عند سرعة 25m/s

دراسة أقطار أنابيب المرطبات البخارية عند ضغط 2bar وسرعة 15m/s

والجدول التالي يحدد اقطار الأنابيب للبخار

الضغط	السرعة	اقطار انابيب البخار (من الحديد الأسود المجلفن)										
		15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
					1	1						
Bar	m/s	1/2"	3/4"	1"	1/4"	1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"
		كمية البخار Kg/h										
	15	7	14	24	37	52	99	145	213	304	648	917
0.4	25	10	25	40	62	92	162	265	384	675	972	1475
	40	17	35	64	102	142	265	403	576	1037	1670	2303
0.7	15	7	16	25	40	59	109	166	250	431	660	1000
	25	12	25	45	72	100	187	287	435	755	1145	1675
	40	18	37	68	108	167	295	455	680	1200	1740	2417
1	15	8	17	29	43	65	112	182	260	470	694	1020
	25	12	26	48	72	100	193	300	445	730	1160	1660
	40	19	39	71	112	172	311	465	640	1150	1800	2500
2	15	12	25	45	70	100	182	280	410	735	1125	1580
	25	19	43	78	112	162	295	422	636	1235	1755	2520
	40	30	64	115	178	276	475	745	1010	1985	2825	4115
3	15	16	37	66	93	127	245	385	535	925	1505	2040
	25	25	56	100	152	225	425	632	910	1580	2480	3440
	40	41	87	157	25	375	595	1025	1460	2540	4050	5940
4	15	18	42	76	108	156	281	432	635	1155	1885	2660
	25	30	65	115	180	270	450	742	1060	1960	2525	4225
	40	49	106	197	295	456	720	1247	1825	3420	4940	7150
5	15	22	49	87	128	187	352	526	770	1295	2105	2835
	25	36	81	135	211	308	548	885	1265	2110	3540	5150
	40	59	131	225	338	495	855	1350	1890	3510	5400	7870
6	15	26	56	106	152	225	425	682	925	1655	2625	3825
	25	43	93	162	252	370	656	1045	1420	2590	4050	5875
	40	71	157	270	409	596	1035	1665	2270	4210	6475	9445

تتمة جدول تحديد أقطار أنابيب للبخار

الضغط	السرعة	قطر انابيب البخار (من الحديد الأسود المسحوب)									
		15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
		1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"
Bar	m/s	كمية البخار Kg/h										
7	15	29	63	110	165	260	445	705	982	1815	2765	3990
	25	49	114	190	289	460	785	1235	1750	3025	4615	6900
	40	78	177	303	455	690	1210	1865	2520	4585	7560	10880
9	15	32	70	120	180	285	475	802	1135	1995	3045	4390
	25	50	102	175	265	420	715	1150	1610	2840	4320	6220
	40	69	152	257	387	590	1020	1570	2243	3940	5990	8470
10	15	44	95	155	250	372	626	1012	1465	2495	3995	5860
	25	66	145	257	405	582	990	1530	2205	3825	6295	8995
	40	104	216	408	615	910	1635	2545	3600	6230	9880	14300
14	15	50	121	205	315	465	810	1270	1870	3225	5110	7500
	25	68	156	341	527	775	1375	2160	3100	5425	8600	12600
	40	109	306	558	855	1310	2295	3610	4750	8510	13050	19150
17	15	60	145	246	372	556	972	1524	2244	3864	6258	8868
	25	102	234	397	624	889	1650	2496	3744	6240	10200	15072
	40	151	366	666	990	1452	2634	4110	5682	10212	15660	22356

الفصل التاسع
الطاقة الشمسية
Solar Energy

٩-١ الطاقة الشمسية في التدفئة و الاستعمال المنزلي

إن تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية دون استعمال وسائط تركيز لأشعة الشمس تتم بواسطة مجمعات مستوية تثبت بوضع مائل بزاوية (45°C) باتجاه الجنوب، وبهذه الطريقة نحصل على درجات حرارة دون (100°C)، وهي مناسبة لأغراض التدفئة وللحصول على الماء الساخن أو للاستعمال المنزلي .

٩-٢ المجمعات الشمسية :

إن المجمع الشمسي هو الجزء الذي يتم فيه امتصاص الإشعاع الشمسي وتحويله إلى حرارة يتم نقلها بواسطة سائل النقل الحراري . تقسم المجمعات الشمسية إلى مجمعات لتسخين السائل و مجمعات لتسخين الهواء. المجمع ذو السطح المستوي هو النوع الأكثر انتشارا للتطبيقات ذات درجات الحرارة المنخفضة (أقل من 95°C)

تمتاز هذه المجمعات ببساطة التركيب وانخفاض الكلفة النسبية وعدم وجود أجزاء متحركة بالإضافة إلى المتانة والاستقرار وكون أن هذه المجمعات تمتص أيضا" الإشعاع المنتشر والتي هي ميزة استثنائية في المناخات الغائمة . يصنع السطح الماص للحرارة من لوح مستوي من مادة موصلة للحرارة توصل به الأنابيب الحاملة للسائل جيدا . وقد تكون هذه الأنابيب فوق أو تحت السطح الماص، وفي بعض تصميمات المجمعات قد تكون الأنابيب جزءا لا يتجزأ من السطح الماص

ولكي نمنع حدوث تسرب للحرارة من داخل المجمع إلى خارجه نقوم بعزل السطح الماص للطاقة الشمسية من الخلف والجوانب ويمكن أن تكون المواد العازلة من مواد مختلفة مثل :

آ الصوف الزجاجي :

وهو عازل جيد للحرارة، ويستخدم في دارات التدفئة العادية وفي عزل أسطوانات المياه الساخنة و عامل الضياع الحراري له $0.035 W/m\,°C$

ومن مميزاته انه يتحمل درجات الحرارة العالية والمنخفضة، ومن مساوئه أنه يفقد خاصية العزل لدى تسرب الماء إليه (لأنه يتبلل بالماء)

ب البولوريتان :

وهو عازل حراري ممتاز ويستخدم بكثرة ويتم العزل بواسطته عن طريق حقنه ليأخذ الشكل المطلوب، وعامل الضياع الحراري له 0.021 W/m .°C

ومن ميزاته أنه لا يتأثر بتسرب الماء إليه ولكنه لا يتحمل درجات حرارة أكثر من (100 °C)

ج الستيروبور:

عامل الضياع الحراري له 0.03 W/m .°C ومن مساوئه انه لا يتحمل درجات حرارة عالية، ولكنه لا يتأثر بتسرب الماء إليه وهو وسط بين الصوف الزجاجي البولوريتان .

د- الغطاء الشفاف:

لقد وجد أن الزجاج هو أصلح المواد للاختيار كغطاء للمجمع. ويفضل اختيار الزجاج الذي له أقل نسبة احتواء للحديد، وهو الزجاج الشفاف الأبيض المبين مواصفاته في الجدول التالي:

الخاصية	زجاج عالي	زجاج عيري	زجاج صودي أيس
نسبة احتواء الحديد	F2%	5%	1%
النقاوة (سقوط عمودي)	79% - 84%	88%- 89%	91.2%- 91.6%
الانعكاسية	8% - 8.2%	8% - 8.1%	8%
الامتصاصية	8% - 13%	3% - 4%	أقل من 1%
سماكة اللوح (مم)	3 - 6	3 – 4.5	3 - 5.5

٩ – ٣ عناصر نظام التسخين الشمسي

يتألف نظام التسخين الشمسي من العناصر الأساسية التالية :

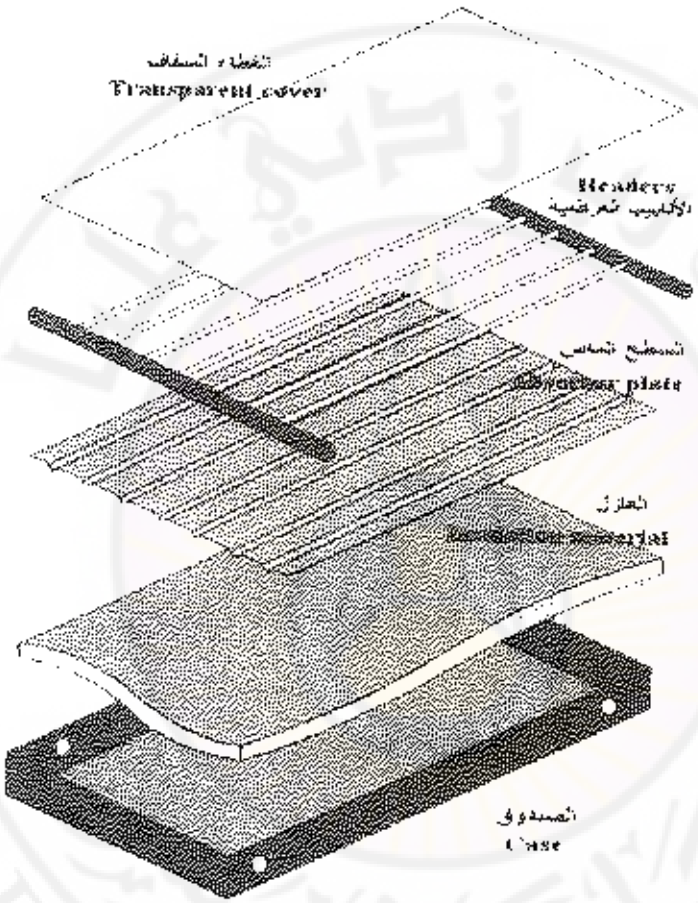
١ـ المجمع الشمسي :

وهو من أهم العناصر المكونة لنظام الطاقة الشمسية يقوم بعملية امتصاص الأشعة الشمسية وتحويلها إلى حرارة محسوسة ضمن مائع المجمع . النوع الفعال والبسيط من هذه المجمعات هو النوع المسطح ويتألف من غطاء زجاجي ، صفيحة ماصة ، أنابيب يمر فيها المائع والكل ضمن صندوق معزول حرارياً . كما في الشكل التالي:

٢ـ خزان التخزين :

بما أن الطاقة الشمسية هي طاقة غير مستمرة طوال اليوم ، ومن أجل تخزين الحرارة لاستخدامها ليلا أو في الظروف المناخية السيئة يتوجب تزويد نظام الطاقة الشمسي بخزان يجمع الطاقة في فترة سطوع الشمس ليستفاد منها في فترات

غيابها، ويجب عزل الخزان جيدا لتقليل فقد الحرارة المخزونة باتجاه المحيط . يتم خروج الماء الساخن من أعلى الخزان في حين يدخل الماء البارد من أسفله.



٣- المبادل الحراري :

يقوم بنقل الطاقة الحرارية بين الوسيط المستخدم في المجمع الشمسي (محلول مانع التجمد) وماء خزان التخزين. يتوضع المبادل الحراري بين المجمع وخزان التخزين .

٤- السخان الإضافي :

وهو جهاز تسخين تقليدي (يعمل على المحروقات أو الكهرباء) والغرض منه مساعدة النظام الشمسي عندما تكون درجة حرارة الماء في خزان التخزين دون المستوى المطلوب، وأفضل موقع للسخان المساعد هو على خط الحمل حيث يتم تزويد الماء الخارج من خزان تخزين الطاقة، وفي هذه الحالة تستخدم أقصى طاقة شمسية ممكنة من خزان التسخين .

٥- المضخات :

وهي التي تستخدم لتدوير مائع نقل الحرارة عبر المجمع ، خزان التخزين والمبادلات الحرارية ، والنوع الأكثر شيوعا للمضخات هو مضخات الطرد المركزي .

٦- صمامات التنفيس :

تستخدم هذه الصمامات في كل من المجمع وخزان تخزين الطاقة لتحرير الهواء من الدارة و البخار في حال تشكله عند درجات الحرارة العالية .

٧- نظام التحكم الأوتوماتيكي :

وهو ينظم آليا عملية تجميع وتوزيع الطاقة في النظام أي تنظيم عمل المضخات اللازمة والتحكم بالصمامات الضرورية بالإضافة إلى تشغيل السخان المساعد المتصل بالنظام الحراري الشمسي

٩-٤ أنواع المجمعات الشمسية:

تجدر الإشارة إلى وجود نوع آخر من المجمعات المركزة التي تقوم بتركيز الأشعة الشمسية الساقطة على سطح صغير ورفع درجة حرارته إلى حوالي 500 °C أو أكثر. تستعمل هذه المجمعات في التطبيقات التي تتطلب درجات حرارة عالية، وتتميز المجمعات المركزة بأنها تستفيد من الأشعة الشمسية المباشرة فقط وبالتالي فهي تحتاج إلى تجهيزات لمتابعة حركة الشمس، ومن أهم الأنواع المستخدمة :

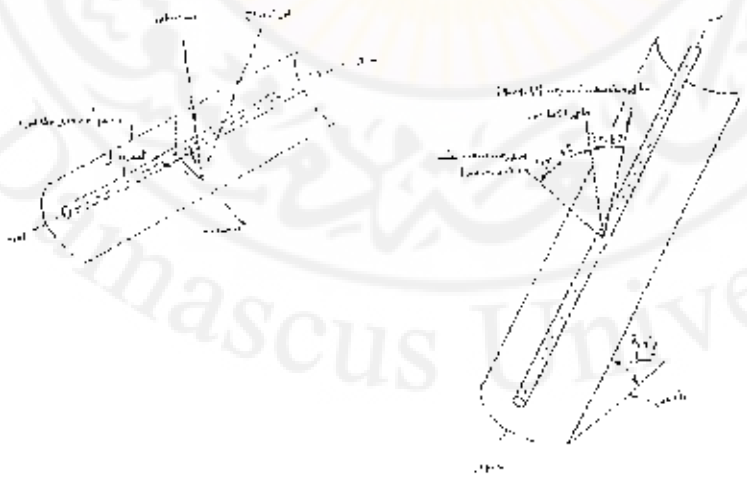
1- مجمعات القطع المكافئ الأخدودية

يمكن استخدام هذه المجمعات في تطبيقات درجات الحرارة المتوسطة والعالية

ويمكن وضع الأخاديد بطرق متعددة أهمها

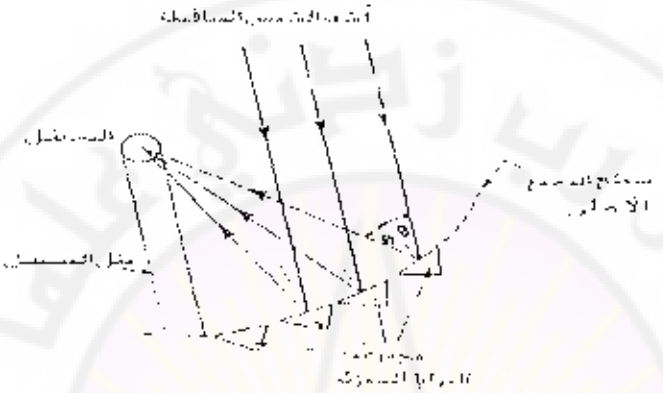
- الوضع شرق – غرب
- والوضع شمال – جنوب

كما هو مبين في الشكل التالي:



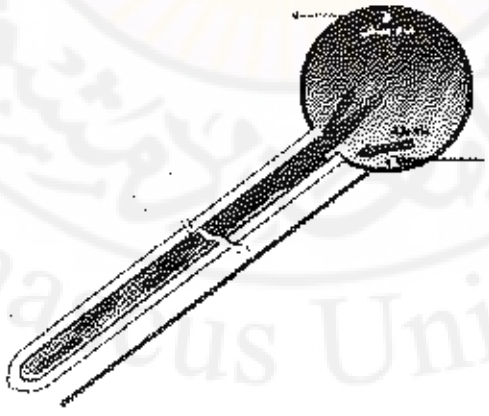
2- مجمعات المرايا المجزأة

يمكن استخدام مجموعة من المرايا الرفيعة التي تميل بزاوية مختلفة لتكون فيما بينها سطحاً عاكسا و مركزاً للحرارة كما في الشكل التالي:



٣- المجمعات ذات الأنابيب المفرغة :

يبين الشكل التالي لاقط شمس مفرغ من الهواء موصل مع خزان الماء حيث تتم حركة الماء الساخن من وإلى الخزن بمبدأ السيفون الحراري ضمن الأنابيب.



لاقط شمس مفرغ من الهواء

تمتاز هذه الأنظمة بما يلي:

١. برخص الثمن وذلك لعدم الحاجة إلى أنابيب حرارية ومجمعات خاصة

٢. صغر الحجم وعدم الحاجة للمضخات والسخانات الحرارية المنفصلة

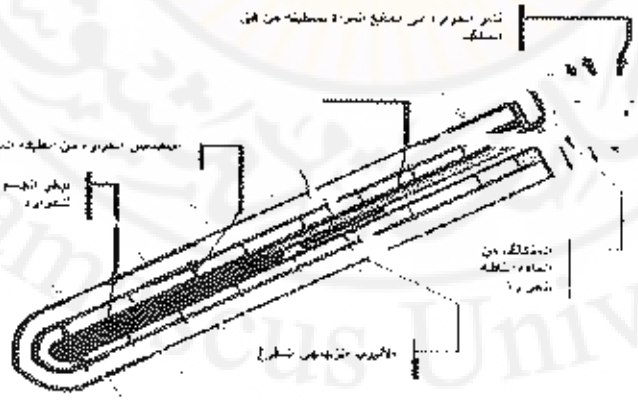
عيوب هذه الأنظمة :

- لا تتحمل ضغطا أعلى من 0.5 Bar، وبالتالي تستخدم هذه الأنظمة من السخانات في الحالات التي يتم تزويد المياه للمنزل عبر الانسياب من خزانات توضع فوقها .

في حالات المياه المضغوطة يجب استخدام السخانات المزودة بمبادل حراري مكون من ملف Coil نحاسي ذي مساحة عالية فتسخن المياه المضغوطة بسحب الحرارة من الخزان الحراري في حين يكون الضغط داخل الخزان أقل من 0.5 Bar ، ويمكن للمياه المضغوطة داخل الملف أن تصل إلى 8 Bar

٤ـ اللاقط ذو الأنابيب الحرارية

يعمل هذا النوع من اللواقط نتيجة لتبخير وتكثيف الوسيط العامل داخل الأنابيب الحرارية فيقوم بنقل الحرارة من منطقة التبخير (المعرضة للأشعة الشمسية) إلى منطقة التكثيف



لاقط شمسي مفرغ من الهواء ذو أنبوب حراري ملامس

إن سورية تقع في منطقة مناخية تتميز بدرجة عالية للإشعاع الشمسي السنوي، وبوجود فرق واضح بين كثافة الإشعاع الشمسي في أشهر الشتاء والصيف

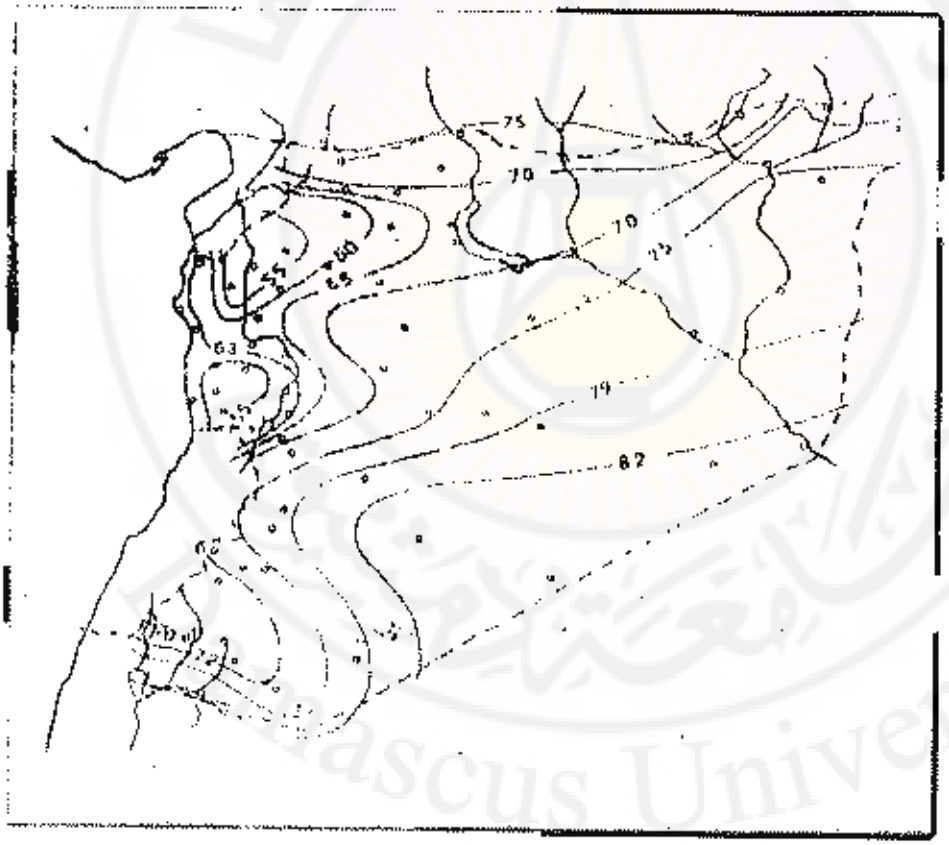
يبين الجدول معدل الإشعاع الشمسي الكلي على سطح أفقي $W/m^2 \cdot day$

المصدر: معدل الإشعاع الشمسي الكلي على سطح أفقي (واط/م² يوم)

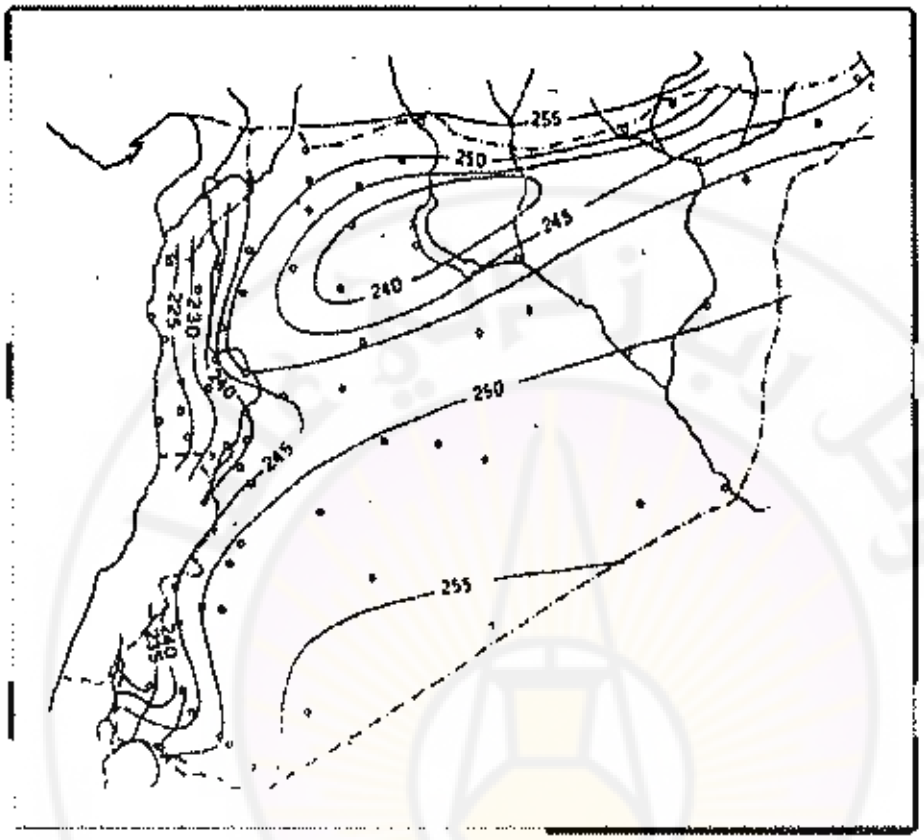
	كانون الثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول	المعدل السنوي	صيفاً	شتاءً
[illegible]	1904	2597	4147	5431	6771	7912	7756	7045	5794	4092	2339	1967	4867	7500	2275
[illegible]	2307	2456	4465	5710	6827	7920	7820	7104	5794	4271	2945	2265	5044	7640	2755
[illegible]	2168	3062	4112	6035	6401	7562	7195	6561	5701	4355	2824	2121	4745	7040	2455
[illegible]	1592	2517	4067	5226	6458	7322	7287	6015	5397	3467	2651	1516	4766	7386	2275
[illegible]	1648	2675	4311	5395	6604	7639	7062	6335	5039	3221	2576	1616	4807	7638	2165
[illegible]	1967	3035	4225	5456	6382	7996	7878	7252	5977	4371	2715	1505	4911	7735	2315
[illegible]	2350	3045	4250	5412	6817	7505	7684	6408	5701	4650	2611	2007	4986	7505	2405
[illegible]	2599	3492	4584	5315	7243	8026	7691	7252	6117	4424	2935	2297	5206	7770	2770
[illegible]	2585	3311	4592	5903	6784	7815	7355	6650	5794	4491	3374	2542	5065	7280	2880
[illegible]	2577	3523	4405	5631	6846	7894	7713	7129	6047	4531	3193	2263	5044	7560	2455
[illegible]	2561	3584	4633	5353	7125	7845	7877	7362	6174	4576	3357	2376	5252	7705	2820
[illegible]	2475	3371	4726	5380	6855	7469	7909	6922	5747	4383	2892	2157	4887	7520	2650
[illegible]	2497	3454	4311	5405	7137	7844	8035	7209	6073	3675	2786	2521	4915	7765	2600
[illegible]	2560	2869	3772	5340	6623	7585	7513	6867	5842	3865	2535	1793	4596	7514	2920
[illegible]	2329	2945	4531	5301	6591	7315	7567	6629	5665	3954	2551	1871	4650	7152	2455
[illegible]	2172	3032	4222	5382	6582	7394	7646	7203	6080	3977	2629	1562	4812	7465	2280
[illegible]	2140	3069	4532	5316	6752	7557	7658	7183	5777	4035	2755	1970	4935	7670	2485
[illegible]	2275	3168	4364	5575	6791	7855	7810	7350	6245	4562	2857	2601	5037	7665	2469
[illegible]	2171	3156	4555	5592	6751	7460	7355	6610	5816	3572	2182	4655	4969	7255	3155
[illegible]	1975	3074	4374	5382	6475	7561	7647	6240	5145	3934	2451	1871	4680	7450	2135
[illegible]	2636	2896	3390	5360	6127	6931	6986	6154	5030	3855	2072	2058	4479	6596	2192
[illegible]	2305	2725	4510	5308	6616	7564	7715	7155	6077	4126	2790	2517	4895	7562	2159
[illegible]	2252	3345	4425	5643	7385	8026	8560	7660	6080	4772	2650	2162	5155	7759	2760
[illegible]	2090	2934	4082	5285	6599	7500	7450	6668	5750	3372	2070	1520	4738	7260	2283
[illegible]	1785	3775	4790	5600	7150	8220	8950	7640	5240	4555	2270	2180	5450	8090	2520
[illegible]	2750	3850	4615	5690	6515	8060	8360	7450	5945	4450	3110	2470	5282	7650	2640
[illegible]	2830	3450	4285	5430	6585	7890	7860	7150	5695	4165	2780	2055	5004	7645	2510
[illegible]	2395	3280	4410	5490	6590	7580	7430	5970	5610	4160	2580	2105	4950	7275	2570
[illegible]	2090	2850	4150	5790	6900	7435	7300	6740	5650	4020	2600	2295	4765	7170	2345
[illegible]	2240	3350	4240	5470	6712	7420	7250	6690	5790	4558	2595	2190	4844	7120	2530

فبينما تصل كثافة الإشعاع الشمسي إلى حدها الأدنى في شهر كانون الأول نراها تصل لأكثر من ذلك بثلاثة أضعاف في شهر حزيران وهذا ما هو موضح في الشكلين التاليين اللذين يشيران إلى خطوط توزع الإشعاع الشمسي في سورية لشهر كانون الأول و حزيران . وهذا يستدعي استخدام مصدر إضافي للطاقة في الأنظمة الشمسية لتسخين المياه المستخدمة في سورية للتغلب على هذا الفرق الكبير في كثافة الإشعاع الشمسي .

خطوط توزع الإشعاع الشمسي في سورية لشهر كانون الأول kW/m^2 :



خطوط توزيع الإشعاع الشمسي في سورية لشهر حزيران: kW/m^2



وقد دلت الإحصاءات أن عدد الأيام التي لا تظهر فيها الشمس في سورية لا تتجاوز(40-30) يوما في السنة . كما أن متوسط ساعات السطوع الشمسي اليومي كبير وكافٍ حتى في أشهر الشتاء، ويبين الجدول التالي متوسط عدد ساعات السطوع اليومي لبعض المواقع في سورية .

متوسط عدد ساعات السطوع اليومي

متوسط عدد ساعات السطوع اليومي [h]												
	كانون ثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين أول	تشرين ثاني	كانون أول
لب	2.1	5	6.4	8	9.8	12	11.9	11.2	9.9	7.7	6	4.3	7.9
حر	5.3	6.6	7	8.4	9.9	11.9	12	11.3	9.7	8	6.4	5.1	8.5
رلة	4.3	5.6	6.4	7.8	9.5	11.1	11	10.6	9.9	7.9	6.5	5	8
رابلس	3.6	5.2	6.4	7.6	8.9	10.8	11.2	11	10.2	7.9	6	4.2	7.8
لب	3.2	4.9	6.2	7.9	9.7	11.9	12.2	11.6	10.2	7.7	5.7	3.9	7.9
ماه	-	3.5	5.4	6.6	7.7	10	12.1	11.6	10.1	7.9	6	4.1	8.1
مص	3.7	4.5	6	7.9	10	11.8	11.7	10.9	9.6	7.8	6	4.2	7.3
رابو	5.2	6.6	7.3	8.6	10.3	12	11.9	11.3	10.2	8.5	6.3	5.1	8.6
ما	5.5	5.9	7.1	8.2	9.7	11.6	10.9	10.1	9.4	8.4	7.2	5.7	8.3
شق الدولي	5.3	6.7	7.1	8.3	10	11.8	11.7	11.2	10.1	8.2	7	5.1	8.5
شق الثمرة	5.4	6.8	7.4	8.9	10.3	11.7	12	11.7	10.6	8.7	7	5.1	8.8
ر الزور	5.3	6.4	6.8	7.8	9.3	11.1	11.5	11	9.8	8	6.4	5	8.2
رقيا	4.1	5.9	6.2	7.1	9.1	11.7	11.9	11.1	9.8	7.2	5.4	3.4	10.9
ين الكرم	4.7	4.7	6.7	6.8	9.6	11.3	11.4	10.7	9.4	6.9	5.1	2.7	7
حسكة	4.3	5.6	6.7	7.7	9.2	11.6	11.7	11.2	9.9	7.8	5.8	4.4	8
حقة	4	5.6	6.5	8.1	9.9	12	11.9	11.4	9.8	7.8	6.2	4.3	8.1
رقة	4.4	5.9	6.9	8.2	9.8	12	11.3	10.3	9.1	6.3	4.4	8.8	
قامشلي	4.5	5.5	6.5	7.5	8.7	11	11.2	11.1	10.1	8	5.9	4.2	8.2
كرزم	2.4	4.4	5.9	7.1	9.4	11.6	11.9	11.2	9.9	7	4.9	3.9	7.5
لاذقية	3.9	5	6.2	7.4	9.2	10.6	10.7	9.4	9.9	7.8	6.2	4.7	7.5
طرطوس	3.3	4.9	6	7.7	9.6	11.9	12.1	11.5	10.2	7.8	5.9	4	7.4

• ملاحظة :

في حال كانت المياه المتوافرة في الموقع كلسية أي (أكثر من 500 جزء من المليون) عندها ينصح باستخدام نظام شمسي غير مباشر لتسخين المياه ذي الجريان الحر وذلك لحماية المجمع الشمسي من التكلس، ويراعي في هذا النظام استخدام وسيلة حماية من التجمد ومصدر طاقة مساعد كهربائي في الخزان .

٥-٩ دراسة نظرية للمجمعات السائلية :

إن الدراسة النظرية للمجمعات السائلية بشكل عام هي لمعرفة كمية الحرارة المنتقلة من الصفيحة المعدنية (السوداء) الماصة للإشعاع الشمسي إلى السائل الذي يمر في أنابيب المجمع ويمكن معرفة كمية الحرارة هذه كما يلي :

إن كمية الحرارة الداخلة إلى المجمع الشمسي تعطى بالعلاقة :

$$Q_{in} = A \cdot (G \cdot \tau \cdot \alpha) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

حيث :

A - مساحة سطح المجمع m^2

G - كمية الإشعاع الشمسي على وحدة السطح (تؤخذ من جداول خاصة) W/m^2

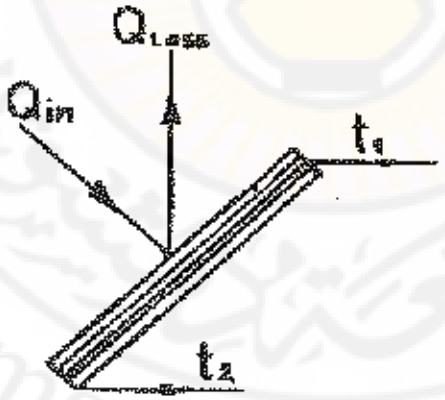
τ - معامل الانتقال للأشعة المرئية .

α - معامل الامتصاص .

يمثل الجداء $(G \cdot \tau \cdot \alpha)$ كمية الإشعاع الشمسي الفعلي الواردة على وحدة سطح المجمع المدروس

من الشكل التالي لدينا

$$Q_{use} = Q_{in} - Q_{loss}$$



وكمية الحرارة المفقودة تحدد كما يلي :

$$Q_{loss} = A \cdot U \cdot (t_1 - t_0) \ldots\ldots\ldots (2)$$

حيث :

t_s - درجة حرارة سطح المجمع .

t_a - درجة حرارة الهواء المحيط .

U - معامل الانتقال الحراري الكلي بين سطح المجمع والجو المحيط

$W/m^2°C$

وبالتالي تكون كمية الحرارة المنتقلة إلى السائل هي حاصل طرح العلاقتين (١) و(٢) أي :

$$Q_{use} = Q_{in} = Q_{loss} = A \cdot [(G \cdot \tau \cdot \alpha) - U \cdot (t_S - t_a)] \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

وهذه العلاقة تكافئ العلاقة التالية :

$$Q_{use} = M \cdot C_w \cdot (t_1 - t_2)$$

حيث :

M - التدفق الكتلي في المجمع kg/s .

C_w - الحرارة النوعية للماء . 4180 J/kg °C

t_1 - درجة حرارة الماء الذاهب من المجمع

t_2 - درجة حرارة الماء الراجع إلى المجمع (الداخل إلى المجمع)

ولكن من مساوئ الحساب بهذه الطريقة أنه في العلاقة (2) تكون (ts) درجة حرارة سطح المجمع غير معلومة وهي تتعلق بدرجة حرارة الماء الذاهب والراجع

$$t_m = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

ولكن عادة تكون (ts) أكبر من (t_m)، ولتلا في هذه المشكلة يمكن أن نعوض في العلاقة بـ (t_2) بدلاً من (ts) وهي درجة حرارة الماء الداخل، وذلك إذا أدخلنا معامل تحريك الحرارة F_r الذي يساوي :

$$f_F = \frac{\text{كمية الحرارة الفعلية المقيسة } (Q_{use})}{\text{كمية الحرارة الداخلة اذا كانت درجة حرارة السطح مساوية لدرجة حرارة دخول الماء } (t_2)}$$

وبالتالي تصبح العلاقة (٣) بالشكل :

$$Q_{use} = A \cdot f_r \cdot [(G \cdot \tau \cdot \alpha) - U(t_2 - t_0)] \ldots\ldots 4$$

٦-٩ حساب مردود المجمع :

مردود المجمع الآني هو النسبة بين كمية الحرارة الواردة الفعلية إلى المجمع ، وجداء كمية الأشعة الواردة مع مساحة المجمع .

$$\eta = \frac{Q_{use}}{G \cdot A}$$

بتعويض قيمة Q_{use} نجد

$$\eta = f_r \cdot \tau \cdot \alpha - \frac{f_r \cdot U \cdot (t_2 - t_0)}{G} \ldots\ldots\ldots (5)$$

عندما لا يكون هناك حرارة ضائعة نكتب المردود للمجمع على الشكل التالي :

$$\eta_0 = f_r \cdot \tau \cdot \alpha$$

من العلاقات التي مرت معنا يتضح لنا أن مردود المجمع يعتمد على ثلاثة عوامل:

- $f_r \cdot U \cdot \eta_0$
- الشروط المحيطة (زاوية الورود ، درجة حرارة الهواء .....الخ) .
- شروط العمل للمجمع (درجة حرارة الماء الداخل ، درجة حرارة الماء في الخزان ..... الخ) .

إذا رمزنا في العلاقة (5) :

$$\{ \Delta t = (t_2 - t_a) \}$$ بـ

يمكن أن نكتب العلاقة بالشكل :

$$\eta = \eta_0 - \frac{f_1 \cdot U \cdot \Delta t}{G}$$

$$y = a - b \cdot x$$ وهي من الشكل

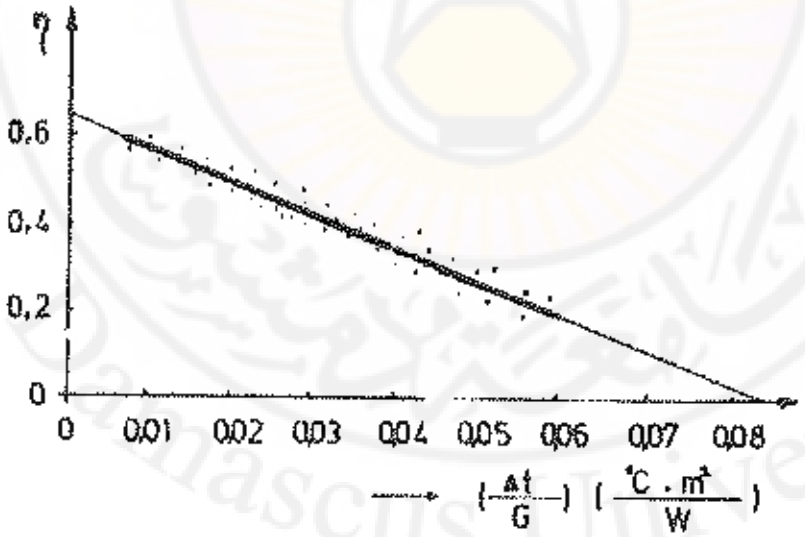
$$(x = \frac{\Delta t}{G})$$ حيث :

وقيم a ، b تتعلق بعدة عوامل وتختلف من بلد لآخر حسب الظروف وحسب تصميم المجمع ويمكن أن نأخذ كمثال

$$(a= 0.72) \text{ و } (b= 5.2)$$

لنموذج معين من المجمعات الشمسية .

والشكل العام لعلاقة المردود هي من الشكل التالي :



٩-٦-١ ملاحظات حول تحسين مردود المجمع :

١- يمكن تخفيف الإشعاعات الشمسية الضائعة أي الإشعاعات التي تنعكس على اللوح الزجاجي الخارجي دون أن يمتصها المجمع وذلك بطلي الوجه الداخلي بطبقة من أوكسيد الأنديوم .

٢- إن الضياع الحراري عبر اللوح الشفاف في المجمع يمكن تخفيضه وذلك باستعمال إما زجاج مزدوج يحتوي على حيز مفرغ من الهواء بين اللوحين حيث لا يحصل أي انتقال للحرارة عبر الحيز المفرغ أو باستعمال زجاج يحتوي على نسبة منخفضة من أوكسيد الحديد ، ولا شك أن الحل الأمثل هو استعمال لوحين زجاجيين بينهما حيز مفرغ من الهواء، ويحتوي اللوحان على نسبة ضئيلة من أوكسيد الحديد .

٣- هناك ظاهرة تتعارض مع دراستنا ظاهريا حيث يرتفع المردود كلما كانت درجة حرارة الماء الوسطية في المجمع قريبة من درجة حرارة الوسط الخارجي، ومن هذا ننصح بإرشادين عمليين :

أ- اعتماد سعة تخزين كبيرة لكي تصغر درجة حرارة الماء الداخلة إلى المجمع ، مثلا إن اعتماد خزان سعة ($300l$) ودرجة حرارة وسطية ($40°C$) أفضل من استعمال خزان سعة ($200l$) ودرجة حرارة وسطية ($50°C$).

ب- اعتماد جريان كافٍ وذلك لكي لا يبقى الماء طويلا في المجمع لأن بقاء الماء لوقت طويل في المجمع يؤدي إلى خروج ماء ذي درجة حرارة عالية، وبالتالي ضياع حرارة أكبر من سطح المجمع عند أنتقال الماء إلى خزان التجميع .

٩-٧ الأمور الواجب تجنبها أثناء تصنيع المجمعات :

١- تسرب المياه :

إن لتسرب المياه إلى داخل اللاقط أثرا سيئا يؤدي بالدرجة الأولى إلى ترطيب العازل مما يفقده صفة العزل وبالدرجة الثانية يؤدي إلى تبخر الماء المتسرب إلى داخل اللاقط، وبالتالي تشكل طبقة من بخار الماء العازلة على السطح الداخلي للسطح الزجاجي تؤدي إلى تخفيض مرور الإشعاع الشمسي إلى داخل المجمع .

٢- التركيب السيّء للزجاج :

يجب عدم تثبيت الزجاج بقوة على المجمع وذلك لأن الزجاج يتعرض إلى تقلب قوى في درجة الحرارة مما يؤدي إلى كسره ، كما يجب الانتباه إلى سماكة اللوح الزجاجي المستعمل بحيث يتناسب مع حجم الإطار الخارجي للمجمع .

٣- التبخر الذي يصيب بعض المواد :

وتكون موجودة داخل المجمع، فمثلاً بعض المواد العازلة يمكن أن تتبخر تحت درجة /70°C -80°C/ مما يؤدي إلى تشكل بخار على السطح الداخلي للزجاج، كما يجب أن يستعمل طلاء أسود غير قابل للتبخر .

٤- التجمد:

في كثير من الأحيان يحدث أن تنخفض درجة حرارة الجو الخارجي إلى مادون الصفر المئوي، وهذا يسبب تجمد المياه داخل الأنابيب وبالتالي هذا يعني تلفا ميكانيكيا ناتجاً عن تفجير الأنابيب بسبب ازدياد حجم الماء عند تجمده، ولتلافي حدوث مثل هذا العطل يُلجأ لعدة أساليب:

أ- الحفاظ على دوران الماء في المجمع خلال فترة احتمال حدوث التجمد، وهذا يعني فقداً كبيراً في الحرارة المدخرة .

ب- تفريغ المجمع من الماء، ولكن عيب هذه الطريقة أنه عند التفريغ يسمح بدخول الهواء للمجمع، وبالتالي صدأ الأنابيب بسبب تكرار تلامسها مع الماء والهواء .

ج- استعمال وسائط منع التجمد ; وتستعمل هذه الموانع في دارات التدفئة المغلقة وتعمل موانع التجمد على تخفيض درجة حرارة التجمد وذلك بإضافة نسبة مختلفة من غليكول الأتيلين .

٥ ـ الصـــدأ :

وهو يحدث كنتيجة طبيعية لوجود التماس بين أنابيب المجمع والماء وخصوصاً عند استعمال أنابيب نحاسية على صفيحة من الألمنيوم أو الفولاذ إذ أول ما يبدأ الصدأ عند نقاط الالتحام بين هذين المعدنين ولذلك يفضل أن يستخدم معدن النحاس لكل من الصفيحة والأنابيب ويمكننا أن نتلافى ظاهرة الصدأ بأن نضع بعض مانعات الصدأ مع الإقلال ما أمكن من دخول الهواء إلى الدارة .

٩-٨ توجيه المجمعات الشمسية :

توجه المجمعات الشمسية عادة باتجاه الجنوب، وذلك لكي تستقبل أشعة الشمس لأكبر فترة ممكنة كما تعطي المجمعات ميلاً على الأفق بزاوية معينة وذلك لكي تسقط أشعة الشمس بشكل عمودي عليها عند فترة الظهيرة بسبب كون أشعة الشمس أشد ما يمكن في هذه الفترة من النهار ، وتحسب الزاوية التي يجب أن تميل فيها المجمعات على الأفق من العلاقة

$$\delta = 90 - \alpha$$

حيث :

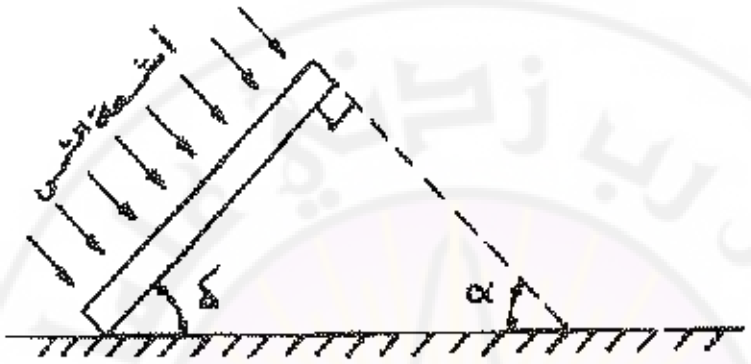
δ- زاوية ميل المجمع على الأفق

$$\alpha = 90 - L + d$$

ومنه $\delta = 90 - (90 - L + d)$

حيث :

(α) زاوية ورود الشمس على الأفق (أو زاوية ارتفاع الشمس).



(L) زاوية خط العرض و هي لمدينة دمشق .

(d) زاوية ميل الشمس و هي الزاوية بين الشعاع الشمسي والمستوى الموازي لمستوى الاستواء المار بالنقطة المعتبرة والجدول التالي يعطي قيمة (d)

التاريخ	زاوية ميل الشمس d
21 حزيران (الانقلاب الصيفي)	23.5
21 أيار 21 تموز	20.25
21 نيسان 21 آب	11.5
21 آذار 21 أيلول	0
21 شباط 21 تشرين (١)	-11.5
21 كانون (٢) 21 تشرين (٢)	-20.25
21 كانون الأول	-23.5

وبإصلاح العلاقة السابقة نكتب ($\delta = L - d$) ولمدينة دمشق ($\delta = 33.5 - d$)
وبتعويض قيم (d) من الجدول السابق في هذه العلاقة ينتج لدينا أن زاوية ميل المجمعات الشمسية تتراوح بين (10° و 57°) .

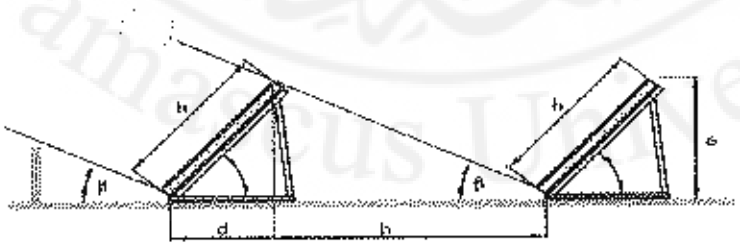
لذلك تمال المجمعات بزاوية ثابتة طوال العام وتكون وسطا بين اعلى وأخفض قيمة لـ (δ) فلمدينة دمشق مثلا :

$$\delta = \frac{10 + 57}{2} = 33.5°$$

وهذه الزاوية توافق زاوية خط العرض لمدينة دمشق (L) لذلك يقال مباشرة إن المجمعات تمال بزاوية ثابتة تساوي زاوية خط عرض المكان المستعملة فيه، ولكن بسبب كون الطاقة المجمعة في الصيف زائدة عن الاستهلاك لذلك نختار (δ) أكبر بحوالي (10°)، وذلك لزيادة مردود المجمع في الشتاء وتعتمد قيمتها الثابتة (δ=45°) زاوية مناسبة لجميع الأوقات بالنسبة لمدينة دمشق . كما يجب أن يراعى عند تركيب المجمعات عدم سقوط ظل المباني والأشجار المجاورة عليها قدر الإمكان ويجب تثبيتها بشكل جيد ضد الرياح والأمطار .

أما أذا كان تركيب المجمعات يتطلب وضعها على عدة صفوف فيجب أن يراعى ألا يسقط ظل الصف الأول من المجمعات على الصف الذي يليه في اسوأ حالة لوضع الشمس .

ويجب أن تكون الزاوية (β) المبينة في الشكل لا تتجاوز 20° اي $\beta \leq 20°$



حيث :

$$\beta = \alpha = 90 - L + d$$

$$\beta = 90 - 33.5 - 23.5 \qquad \text{في كانون الأول}$$

$$\beta = 33° \qquad (\text{في الظهيرة})$$

أما وسطي اليوم فتكون الشمس منخفضة وزاويتها أقل من ذلك ، لذا ينصح بان لا تزيد β عن $20°$

٩-٩ خزان ادخار الحرارة :

إن الهدف من وجود هذا الخزان هو ادخار الطاقة الحرارية في الساعات الشمسية للاستفادة منها في ساعات الليل حيث يتوقف عمل المجمعات الشمسية .

يمكن صناعة الخزان من الفولاذ أو من الاسمنت وفي جميع الأحوال يجب أن يعزل عزلا جيدا ، ويقدر حجم هذا الخزان من معرفة الفترة التي يراد خزن الماء الساخن خلالها، وكذلك معدل استهلاك الماء سواءا كان للتدفئة أم للاستعمالات المنزلية ففي حال عدم استخدام مصدر حراري مساعد فإننا سنحتاج إلى خزان تجميع كبير الحجم لا يستفاد من كامل مخزونه إلا في أيام قليلة من فصل الشتاء ، أما في حال وجود مصدر حراري مساعد فيمكننا أن نصغر حجم الخزان مما يؤدي إلى وفر في الكلفة التأسيسية وزيادة في كلفة التشغيل.

ويستعمل كوسيط للتسخين أما الماء أو الهواء أو أملاح ذات درجات منخفضة ، ولكن عادة يستعمل الماء لأن له سعة حرارية جيدة ورخيص الثمن وعملي أكثر من غيره من وسائط التسخين ويمكن القول بشكل عام إن حجم التخزين الأمثل

يتعلق بمساحة المجمعات ويلزمنا بحدود (40-50 l) لكل m^2 1 من مساحة المجمعات

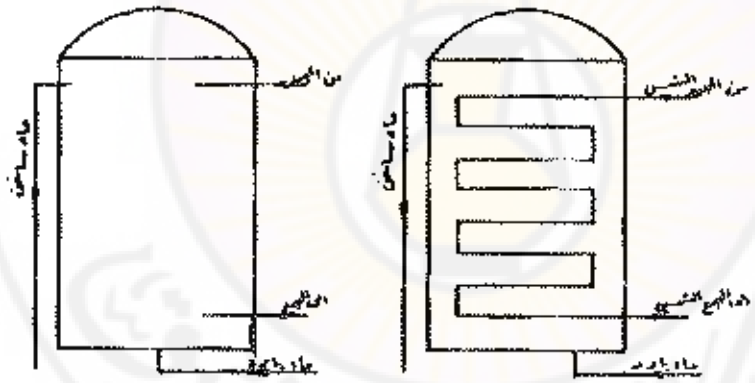
ويمكن أن يتم تسخين الماء داخل الخزان بطريقتين :

أ الطريقة المباشرة :

أي أن الماء الخارج من المجمع يتجه مباشرة إلى الخزان ويختلط بالماء البارد الموجود فيه ويتم تسخينه .

ب الطريقة غير المباشرة :

أي أن الماء الخارج من المجمع يدخل إلى الخزان عبر وشيعة تسخين، ويتم تسخين الماء داخل الخزان بالتوصيل والحمل بواسطة هذه الوشيعة .



(أ) (ب)

٩-١٠ استخدام الطاقة الشمسية في التدفئة :

٩-١٠-١ دراسة الحمل الحراري :

لدراسة الحمل الحراري لبناء يلزم تحديد العوامل التالية :

- نوعية السطوح التي يتم فيها انتقال الحرارة .

- معاملات انتقال الحرارة .
- كمية الهواء المتسرب .
- الفرق بين درجة الحرارة الداخلية والخارجية .

و عند الاستفادة من الطاقة الشمسية في التدفئة يجب مراعاة :

١- تقليل الحمل الحراري الضائع من البناء إلى الحد الاصغري .

٢- استعمال المساحة الاقتصادية من المجمعات الشمسية .

ولتقليل الحمل الحراري الضائع من البناء :

ا - يمكن العمل على عزل السطوح المعرضة للجو الخارجي بشكل جيد بحيث نحصل على القيمة الدنيا لمعاملات انتقال الحرارة مع مراعاة القيمة الاقتصادية لسماكة العازل .

ب- يمكن العمل على إقلال كمية الهواء المتسرب إلى الحد الأصغري الكافي لحاجة الساكنين ضمن المنزل، ويتم ذلك بإحكام النوافذ والأبواب بشكل جيد . ويمكن أن يتم إدخال الهواء المطلوب عن طريق مسخنات هوائية شمسية توضع تحت النوافذ .

ج - يمكن تصغير قيمة الفرق بين درجة الحرارة الداخلية والخارجية ويتم ذلك :

١ - بتخفيض درجة الحرارة الداخلية وهذا ممكن بسبب ارتفاع درجة حرارة السطوح الداخلية للبناء نتيجة لاستعمال العزل الحراري الجيد، وكذلك باستعمال طريقة التدفئة بالأرض والتي تناسب طريقة التدفئة باستعمال المجمعات الشمسية حيث لا تتطلب درجة حرارة مرتفعة لوسيط التسخين . بالاستناد لما ذكر يمكن أن تؤخذ درجة الحرارة الداخلية حوالي (18°C) نتيجة لارتفاع درجة حرارة الإشعاع الوسيطة للبناء .

٢ - أخذ تغير درجة الحرارة الخارجية بعين الاعتبار خلال فترة التدفئة المطلوبة .

من المعروف انه في دراسات التدفئة العادية تعتمد درجة الحرارة الخارجية بالاستناد إلى إحدى الطرق التالية :

ا- المعدل العام لدرجات الحرارة الدنيا السنوية خلال جميع السنوات السابقة التي لها سجلات أي اعتبار (100%) من ساعات فصل الشتاء .

ب - أخذ درجة الحرارة الدنيا (لـ (99 %) من ساعات فصل الشتاء .

ج - أخذ درجة الحرارة الدنيا لـ (97.5 %) من ساعات فصل الشتاء

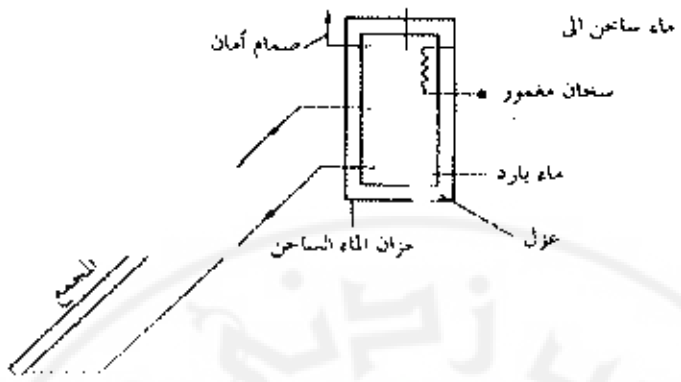
ولكن من المعروف أن درجة الحرارة الخارجية تتغير مع الزمن لذلك يجب تحديد درجة الحرارة الخارجية بدلالة ساعات اليوم من معرفة معدل تغير درجة الحرارة اليومي للمكان المراد دراسته، وبدلالة درجة الحرارة الخارجية المتغيرة هذه ، نحسب الضياع الحراري الساعي ، هذه الطريقة تعطي حمل حراري للمبنى أقل بحوالي (25%) من الحمل الحراري المحسوب بطريقة اعتماد درجة الحرارة الخارجية الدنيا

٩-١١ الأنظمة الشمسية لتسخين المياه ذات الجريان الحر :

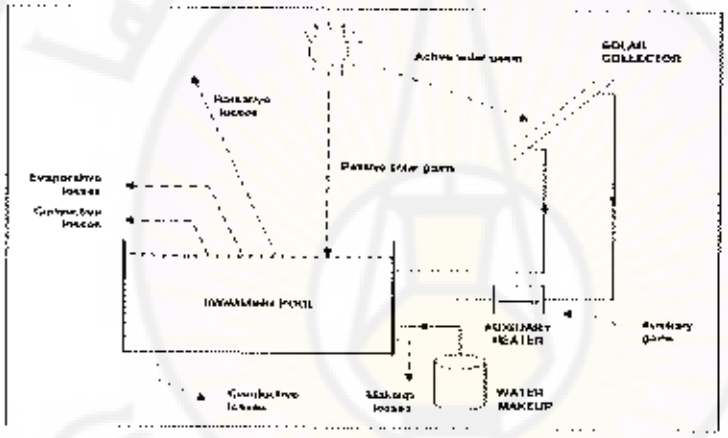
في هذه الأنظمة يسخن مائع النقل الحراري ويستخدم الحمل الطبيعي لينقله من المجمع إلى الخزان يجب وضع الخزان بمستوى أعلى من المجمعات. لا تحتاج هذه الأنظمة إلى المضخات لأن الجريان الحر يحدث حالما يكون هناك إشعاع شمسي كافٍ ومن أهم هذه الأنظمة :

٩-١١-١ الأنظمة الشمسية المباشرة لتسخين المياه ذات الجريان الحر :

يبين الشكل التالي نظام شمسي لتسخين المياه بشكل مباشر ووحيد الخزان و ذو جريان حر



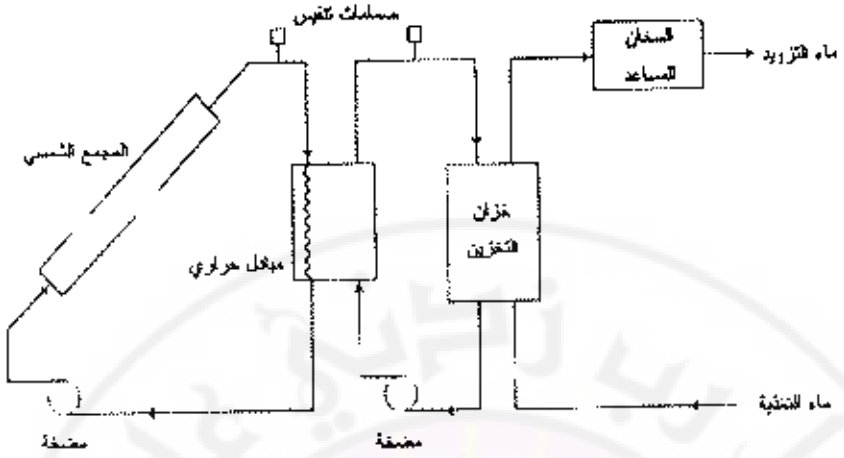
نظام شمسي لتسخين المياه ، مباشر ، وحيد الخزان ، ذو جريان حر



شكل تخطيطي يبين كيفية تسخين الماء للمسبح باستخدام الطاقة الشمسية

٩-١١-٢ الأنظمة الشمسية غير المباشرة لتسخين المياه ذات الجريان القسري

في هذا النوع من المجموعات الشمسية ذات الجريان القسري غير المباشر ، يستخدم مائع خاص (ماء مقطر مع مانع تجمد) لنقل الحرارة في الدارة وهو نظام شائع الاستخدام في المناطق التي يخشى فيها من حدوث التجمد وهذا النظام موضح في الشكل التالي :

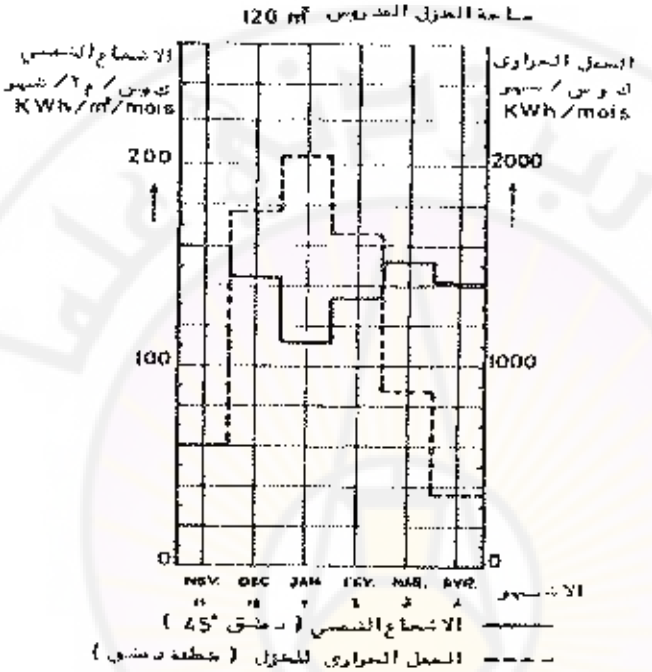


٩-١٢ إستعمال المساحة الاقتصادية من المجمعات الشمسية :

من المعلومات المتوافرة عن الربح الحراري الشمسي نحدد كمية الحرارة الساعية المكتسبة وبحسب توافق التدفئة مع فترة سطوع الشمس تحدد مساحة المجمعات الشمسية حيث يلزمنا أقل ما يمكن من مساحة المجمعات الشمسية إذا كانت فترة التدفئة هي فترة سطوع الشمس نفسها. ويلزمنا مساحة مجمعات شمسية أكبر مع خزن حراري للطاقة إذا كانت فترة التدفئة أطول من فترة سطوع الشمس كما هي الحالة في المثال الموضح فيما يلي :

الشكل التالي يبين بخط مستمر كمية الإشعاع الشمسي الشهري (بواحدة كيلوا وات ساعي / متر مربع / شهر) لفصل الشتاء لمدينة دمشق على سطح مائل عن الأفق بمقدار (45^{o}) درجة . كما يبين الخط المتقطع الحمل الحراري المحسوب بطريقة ساعية شهرية (بالكيلو وات ساعي / لكل شهر) لمنزل مساحته ($120\ m^2$) معزول جيداً ، بفرض فترة التدفئة (9) ساعات من الساعة (8) إلى الساعة (17) ودرجة الحرارة الداخلية (18) درجة مئوية .

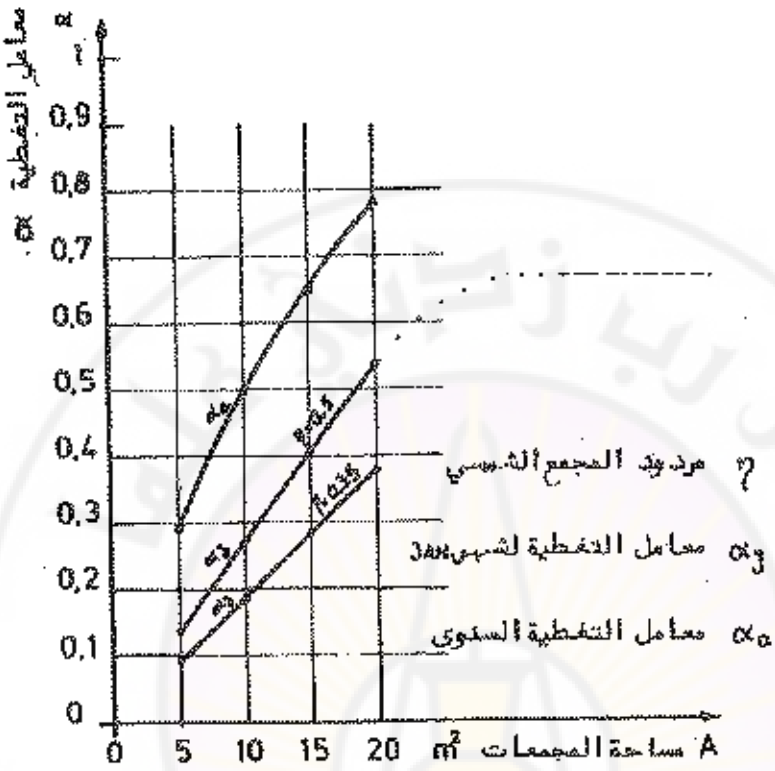
من مقارنة الحمل الحراري المحسوب للمبنى مع الربح الحراري الشمسي يمكن تحديد نسبة الحمل المغطي بالطاقة الشمسية .



الشكل التالي يوضح عامل التغطية الشمسي (α) بدلالة مساحة المجمعات (A) المستعملة حيث يحسب عامل التغطية الشمسي من النسبة بين كمية الربح الحراري من الطاقة الشمسية، وهذه تعتمد على مساحة ومردود المجمعات الشمسية المستعملة ، وكمية الحمل الحراري اللازم للمنزل .

$$\alpha \text{ عامل التغطية} = \frac{\text{الربح الحراري من الطاقة الشمسية}}{\text{الحمل الحراري للمنزل}}$$

$$\alpha_{j} = \frac{112 \times 5 \times 5 \times 0.5}{\frac{2050}{210}} = 0.1366$$



فإذا أخذنا كمثال شهر كانون الثاني الذي يعتبر أبرد شهر في فصل الشتاء لمدينة دمشق ، نرسم خطين لـ (α_s) الأول بمردود مجمعات (35 %) والثاني بمردود (50 %) وطبعا تزداد قيمة (α) مع ازدياد المردود .

لنأخذ المجمعات المدروسة بمردود (50 %) فنلاحظ من المخطط أن معامل التغطية الشمسي (α_s) يتغير شبه خطيا حتى مساحة مجمعات تساوي (20 %) تقريبا من مساحة المنزل المدفأ بينما لا تستمر التغطية بعد هذا الحد من مساحة المجمعات، ويأخذ الخط شكل منحن مقارب لقيمة تغطية تساوي (65 %) .

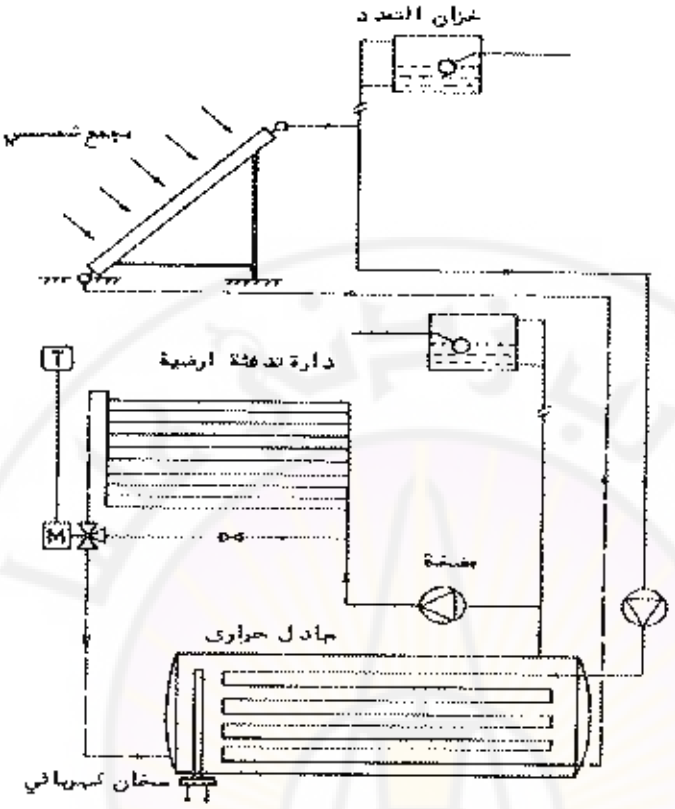
المنحني (α_{η}) يبين معامل التغطية الشتوي بدلالة مساحة المجمعات ويمكن حسابه بأخذ مجموع الربح الحراري الشمسي مع مساحة ومردود المجمعات، وتقسيم الناتج على مجموع الحمل الحراري الشتوي للمنزل .

ويلاحظ أن قيمة (α_{η}) تصل إلى حوالي (78 %) عند مساحة مجمعات تساوي (20 m^2) والتي تعادل ل (17 %) من مساحة المنزل المدروس .

يتضح من هذه الحسابات أنه مهما زادت مساحة المجمعات فإن من غير الممكن الوصول إلى تغطية كامل الحمل الحراري الشتائي المطلوب اي لا يمكن زيادة معامل التغطية الشمسي (α) . فإذا استعملنا هذه النتائج يمكننا تصميم نظام تدفئة شمسي باختيار مساحة مجمعات شمسية ضمن الحدود المذكورة، ودراسة الحمل الحراري باعتبار القيمة الوسطية الشهرية لدرجة الحرارة الخارجية مما يساعد كثيرا على تسهيل وتبسيط الحسابات .

٩-١٣ دارة تدفئة تستخدم الطاقة الشمسية في التدفئة الأرضية :

يوضح الشكل التالي مخططا رمزيا لدارة تدفئة باستخدام مجمعات الطاقة الشمسية ومبادل حراري مع دارات تدفئة أرضية . يمكن اعتبار بشكل تقريبي ، درجة الحرارة الوسطية للماء في دارة التدفئة الأرضية (40° C) ودرجة الحرارة الوسطية للمبادل الحراري ودرجة الحرارة الوسطية لدارة المجمعات الشمسية (من 45°C إلى 50°C) .



الشكل يبين دارة تدفئة رمزية باستعمال الطاقة الشمسية

تتميز هذه المجموعة بكونها حلاً مناسباً لموضوع التدفئة بالطاقة الشمسية من ناحية تحقيق سطح تبادل كبير بتكاليف صغيرة ، حيث تصنع الشبكة الأنبوبية في التدفئة الأرضية من مواد لدائنية خاصة، ويتم تمديدها في أرض الغرفة بحيث تغطيها بشكل كامل تقريباً وهذا ما يحقق سطح تبادل حراري كبير .

يلاحظ ضرورة استعمال صمام ثلاثي آلي مع ترموستات لكل غرفة ليحافظ على درجة ثابتة ضمن الغرفة ، ويقترح هنا استعمال مسخنات كهربائية لدعم التدفئة بالفترات غير المشمسة .

٩-١٤ الدراسة الاقتصادية لسعر الكيلو وات الساعي الحراري المتولد من الطاقة الشمسية :

نحدد من المخططات السابقة التغيرات الشهرية للطاقة الشمسية الواردة ، والحمل الحراري اللازم لتدفئة المنزل المدروس، ومعامل التغطية الشمسي، وبإضافة الأسعار الحالية للتجهيزات المطلوبة ، يمكننا تقديم الكلفة الإجمالية لكل كيلو وات ساعي حراري منحول من الطاقة الشمسية، مع مناقشة القيمة الاقتصادية لسعر الطاقة العادية التي يمكن أن تدخل عندها الطاقة الشمسية ، بمعلومية زيادة أسعار الطاقة الحالية ، وتكون اقتصادية لأن الطاقة الشمسية سيكون سعرها متنازلا مع الزمن بينما الطاقة العادية متزايدة مع الزمن ، وبالتالي خلال فترة الاستثمار سيكون الناتج أن كلفة الطاقة الشمسية الإجمالي لمدة محددة مساوية أو أقل من كلفة الطاقة التقليدية المستعملة .

إن أجهزة التحويل الشمسية الحرارية لها كلفة تأسيسية مرتفعة، ولكن لا يتطلب تشغيلها اعتمادات سنوية سوى التي تتعلق بأعمال الصيانة ، تتطلب الدراسة الاقتصادية وضع نموذج حسابي لدراسة طرق استثمار المجمعات الشمسية ومقارنة كلفتها مع كلفة الطاقة التقليدية ، وسنعتمد لذلك العلاقة التالية :

$$C = \frac{(A \times X + K) \cdot F}{\alpha \times Q}$$

حيث :

(C) سعر الطاقة المفيدة التي تولدها المجمعات الشمسية إلا أنه يجب أن ندرك أن هذه القيمة قد عرفت بالسعر الذي يجب أن تتميز به الطاقة التقليدية التي يتم استبدالها اقتصاديا بالطاقة الشمسية، وبذلك تقدر (C) بالليرات السورية لكل كيلو وات ساعي حراري مولد من الطاقة الشمسية .

(A) مساحة المجمعات الشمسية المستعمل (m^2) .

(X) سعر المتر المربع من المجمعات الشمسية (ل س) ليرة سورية .

(K) كلفة التأسيسات الثابتة للدارات (ل س) ليرة سورية .

(F) عامل استرداد رأس المال ويساوي :

$$F = \frac{(1+r)^n}{n \cdot (1+e)^n}$$

ويساوي: $\frac{1}{n}$ عندما $r = e$

(e) نسبة الارتفاع السنوي لسعر المازوت (أو الطاقة المستعملة كهرباء مثلا).

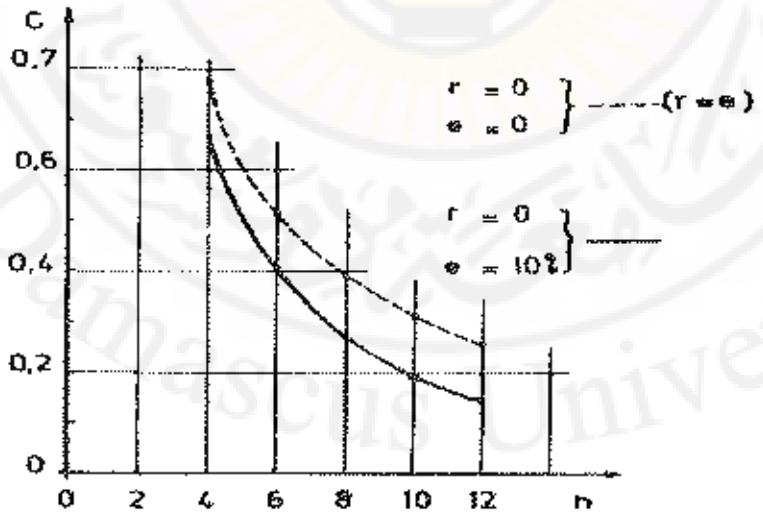
(n) عدد سنوات استثمار النظام الشمسي .

(r) الفائدة السنوية لرأس المال .

(α) عامل التغطية السنوي .

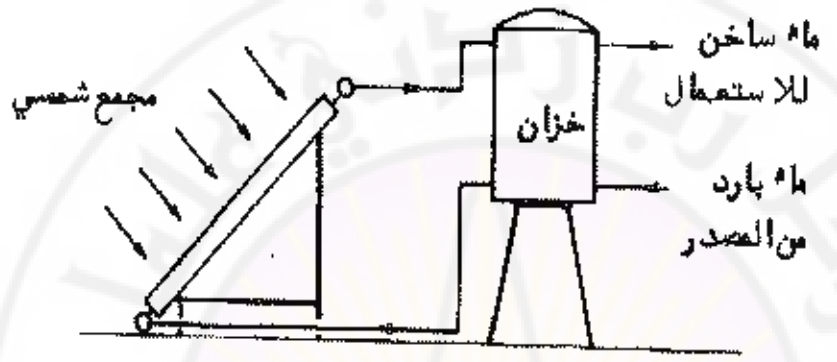
(Q) الحمل الحراري الكلي لفصل الشتاء (بالكيلو وات ساعي) .

الشكل التالي يبين قيمة (C) بدلالة (n) عدد سنوات الاستثمار :



٩-١٥ السخان الشمسي لماء الاستعمال :

الشكل يبين نموذجا بسيطا لسخان شمسي لماء الاستعمال ، ويتألف من مجمع شمسي وخزان ماء وتوصيلات الأنابيب اللازمة .



ولحساب مساحة المجمعات الشمسية اللازمة وحجم خزان الماء المناسب نعتمد ما يلي : ان كل شخص يلزمه يوميا حوالي (50l) لترا من الماء الساخن بدرجة حرارة تتراوح بين (40°C إلى 60°C) ، وبذلك يكون الحمل الحراري اللازم لرفع درجة حرارة كتلة الماء (M) إلى الدرجة (t) تساوي :

$$Q = M \cdot C_w \cdot \Delta t$$

حيث نعتبر $\Delta t = 35\,^{\circ}C$ فرق درجات الحرارة بين الماء البارد والماء الساخن

C_w - الحرارة النوعية للماء

M - كتلة الماء المناسبة (Kg/day)

بفرض:

M تساوي 50 kg/day

يكون :

$$Q = M \times C_w \times \Delta t = 50 \times 4.18 \times 35 = 7315 \quad kJ / day$$

للتحويل إلي كيلو وات ساعي

$$Q = \frac{7315}{3600} = 2.03 \quad kWh / day$$

إذا أخذنا معطيات مدينة دمشق نحصل على قيمة (G) لكمية الإشعاع لشهر كانون الثاني تساوي :

$$G = 3.7 \quad kWh / m^2 .day$$

بفرض أن المجمعات المستعملة ذات مردود حراري لا يقل عن (50%) لظروف التشغيل .

نحسب المساحة (A) بالمتر المربع للمجمعات الشمسية اللازمة :

حيث :

$$A = \frac{Q}{\eta \times G} = \frac{2.03}{0.5 \times 3.7} = 1.1 \quad m^2$$

أي أن كل شخص يلزمه تقريبا واحد مترا مربعا من المجمعات الشمسية مع خزان ماء لا تقل سعته عن (50) لترا ، شرط أن لا يقل مردود المجمعات الشمسية عن (50 %) .


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل العاشر

مخطط الهواء الرطب (المخطط السايكومتري)

Moist Air Psychometric Chart

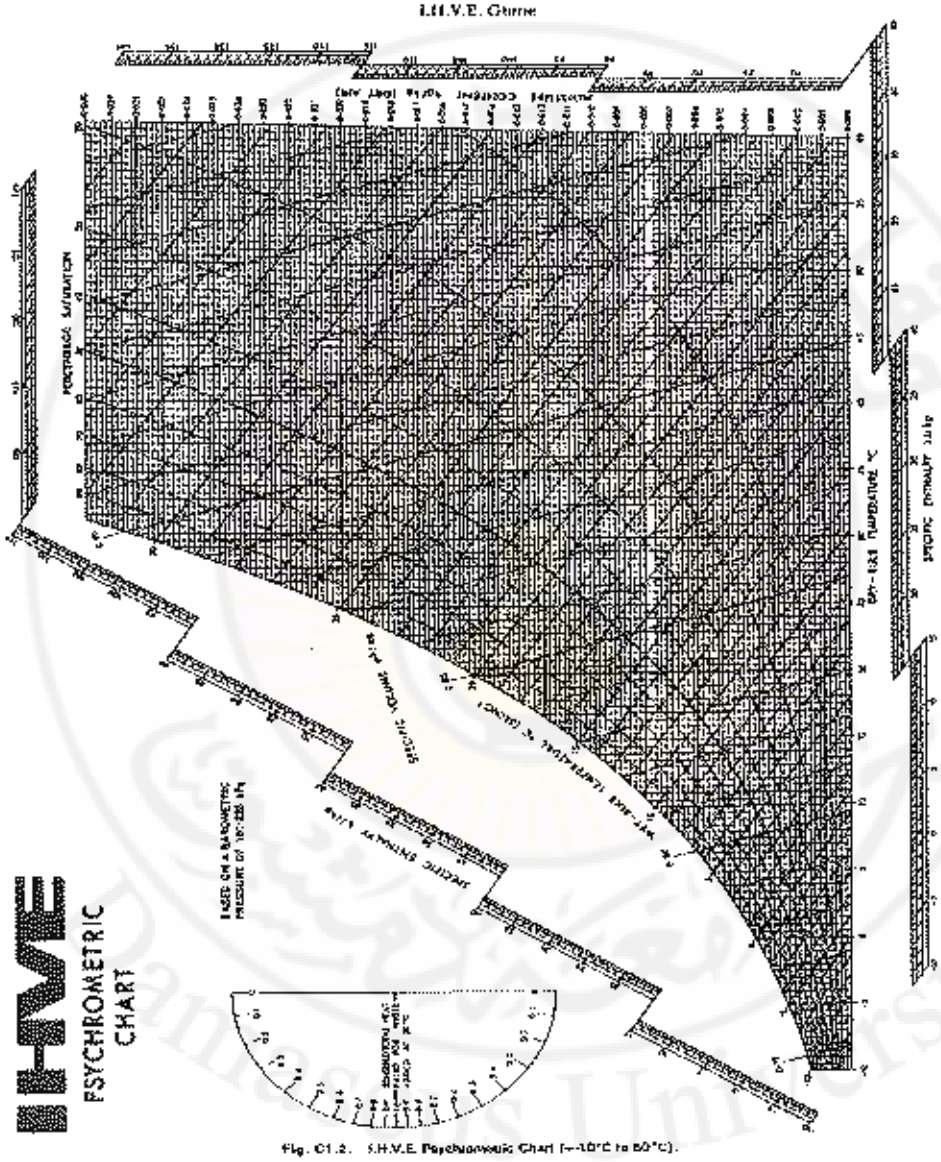


Fig. C1.2. I.H.V.E. Psychrometric Chart (−10°C to 50°C).

Pads of 50 charts (A3 size) are available from the I.H.V.E. Publications Department, 49 Cadogan Square, London SW1X 0JJ.

١٠-١ المخطط السايكومتري :

يستعمل المخطط السايكومتري (وهو مخطط يبحث في دراسة وتعيين خواص الهواء الجوي داخل وخارج الأماكن المكيفة) كأداة لتحديد خصائص الهواء الرطب عند الضغط الجوي، ويفيد في تسهيل وتوضيح عمليات التكييف المختلفة التي تجري على الهواء من (تبريد ، تسخين ، ترطيب أو إزالة رطوبة) . كما يساعد في اختيار بعض الأجهزة والمعدات التي تستخدم في التكييف ويحتوي المخطط السايكومتري على سبع خواص للهواء .

١٠-٢ مكونات الهواء الرطب:

إن الهواء الذي يحيط بنا مكون أساسي لحياتنا اليومية، وهو يتألف من الهواء الجاف وبخار الماء. إن مزيج الهواء الجاف وبخار الماء نطلق عليه اسم الهواء الرطب.

الهواء الجاف يحتوي على عدة غازات مثل:

(أوكسجين و نسبته 21% حجما, و أزوت ونسبته 78% وغاز الفحم ونسبته 0.03% وأرغون ونسبته 0.8 % الإضافة إلى كميات قليلة من الغازات النادرة)

يبن الجدول تركيب الهواء الجوي

اسم العنصر	الرمز	الوزن الجزئي	النسبة المئوية بالحجم
أكسجيـــن	O2	32	20.9476
نيتروجين	N2	28.016	78.084
أرغـــون	Ar	39.944	0.934
ثاني اكسيد الكربون	CO2	44.010	0.031

نيـــــون	Ne	20.183	0.0018
هليـــــوم	He	4.003	0.0005
هيدروجين	H2	2.016	0.0005
ميثـــــان	CH4	16.043	0.0002
ثاني أكسيد الكبريت	SO2	44.010	0.0001
مكونات اخرى	-	-	0.0003

١٠-٣ ضغط الهواء :

إن ضغط الهواء على سطح البحر يساوي حوالي 760mm زئبقي أو $1.0336kg/cm^2$ تسمى هذه القيمة بالضغط الجوي الفيزيائي. وبما أن الهواء الرطب مزيج من الهواء الجاف و بخار الماء و حسب قانون دالتون، فإن ضغط هذا المزيج يساوي إلى مجموع ضغوط الغازات الداخلة في تركيبه أي أن:

$$P = P_a + P_v$$

حيث:

P - ضغط الهواء الرطب و يساوي الضغط الجوي.

P_a - ضغط الهواء الجاف.

P_v - ضغط بخار الماء في حالة عدم الإشباع و هو يتبع لدرجة الحرارة. و لا يمكن أن يزيد عن حد معين لكل درجة حرارة معينة. ويسمى في هذه الحالة بضغط الإشباع و يرمز له بـ P_S ، إن ضغط بخار الماء في الهواء الرطب غير المشبع P_v أقل من ضغطه في حال الإشباع وتتحقق العلاقة التالية بينهما:

$$P_v = \theta \times P_S$$

يسمى العامل θ بالرطوبة النسبية للهواء الرطب، ويرمز له أحيانا RH اختصارا لـ Relative Humidity

١٠ـ٤ خصائص الهواء الرطب:

باعتبار الهواء غازاً مثالياً يتبع قوانين الغاز المثالي فإننا سوف نقوم بإعطاء بعض القوانين البسيطة للمساعدة في فهم المخطط السيكرومتري

قانون الغازات العام $$P \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

وباستعمال قانون دالتون للغازات Daltons Law

$$P = P_a + P_v$$

حيث :

P ـ الضغط لحقيقي

P_a ـ الضغط الجزئي للهواء الجاف

P_v ـ الضغط الجزئي لبخار الماء

١٠ـ٥ الرطوبة النوعية (أو الرطوبة المطلقة) :

هي مقدار كمية الرطوبة في الهواء لكل 1 kg من الهواء الرطب .

$$w = \frac{m_v}{m_a} \quad \frac{kg_v}{kg_{air}}$$

حيث :

w ـ كمية الرطوبة أو الرطوبة النوعية (Specific Humidity)

m_v كمية الرطوبة في الهواء بوحدة kg

m_v كتلة الهواء بوحدة kg

وباستعمال قانون الغازات العام:
كتلة الرطوبة :

$$m_v = \frac{P_v V_v}{R_v T_v}$$

كتلة الهواء

$$m_a = \frac{P_a V_a}{R_a T_a}$$

إذا الرطوبة النوعية

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

لكن من قانون دالتون :

لدينا :

$$T_{mix} = T_v = T_a$$

و

$$V_{mix} = V_v = V_a$$

إذن عليه تكون الرطوبة النوعية

$$w = \frac{m_v}{m_a} = \frac{\frac{P_v V_v}{R_v T_v}}{\frac{P_a V_a}{R_a T_a}} = \frac{P_v V_v}{R_v T_v} \times \frac{R_a T_a}{P_a V_a}$$

$$\Rightarrow w = \frac{R_a}{R_v} \times \frac{P_v}{P - P_v}$$

الضغط الجوي هو حسب قانون دالتون كالاتي :

$$P = P_a + P_v$$

وبما ان :

$$\frac{R_a}{R_v} = \frac{\overline{R}}{28.9} \times \frac{18}{\overline{R}} = 0.622$$

ومن ثم يمكن كتابة الرطوبة النوعية كالآتي :

$$w = 0.622 \cdot \frac{P_{v_{max}}}{P - P_v}$$

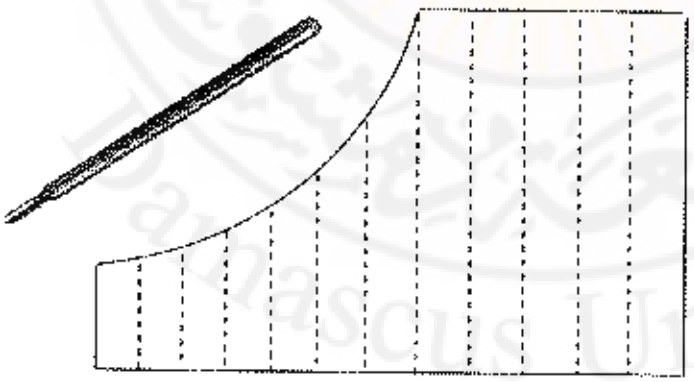
من العلاقات الرياضية السابقة ينتج أن كمية الرطوبة للهواء الجوي تزداد مع زيادة الضغط الجزئي لبخار الماء الموجد في الهواء الجوي ومن هنا يتضح أن الرطوبة المطلقة تتناسب مع ضغط البخار P_v وعليه يتحمل الهواء قدراً معيناً من بخار الماء و أقصى حد يتحمله الهواء عندما تصل P_v إلى درجة التشبع عندئذ يكون الهواء مشبعاً وأيُ زيادة في الرطوبة تؤدي إلى التكاثف.

٦-١٠ درجة حرارة الهواء:

يوجد للهواء ثلاثة أنواع من درجات الحرارة :

١- **درجة الحرارة الجافة** :

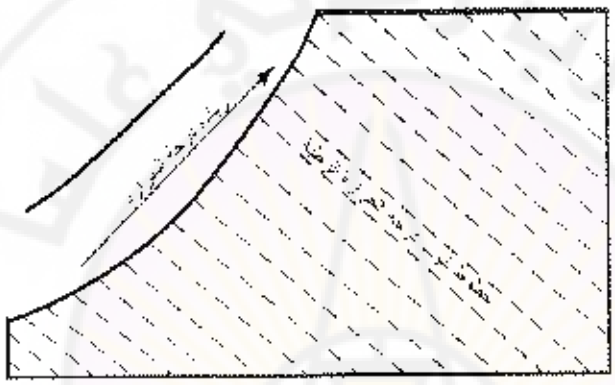
و تمثل بالخطوط الراسية في المخطط ، وهي تمثل ثبات درجة الحرارة الجافة، وتقاس بميزان حراري زئبقي عادي.



زيادة درجة الحرارة الجافة ⟶

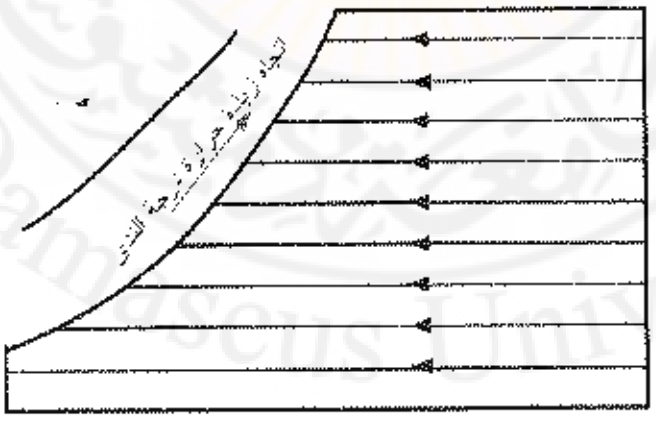
٢- **درجة الحرارة الرطبة:**

و تقاس بميزان حرارة عادي مستودعه مغطى بقطعة قماش مبللة بالماء ويمر على القماش تيار من الهواء. إذا كان الهواء مشبعاً فإن الماء، لا يتبخر من القطعة القماشية، وفي هذه الحالة تتساوى درجتا الحرارة الجافة و الرطبة. و أما إذا كان الهواء غير مشبع فإن الماء سيتبخر و درجة الحرارة الرطبة للهواء تصبح أصغر من درجة الحرارة الجافة.



٣- **درجة حرارة نقطة الندى للهواء الرطب:**

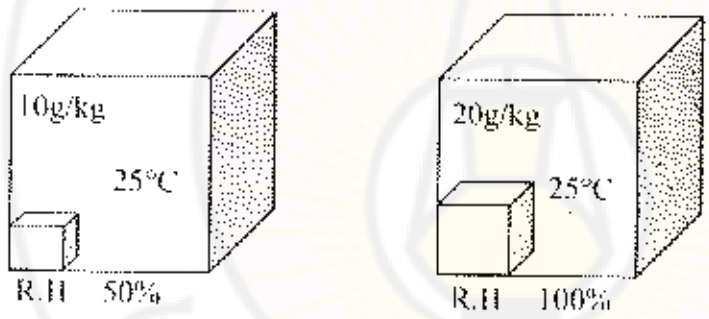
هي درجة حرارة الهواء الرطب التي يبدأ عندها بخار الماء بالتكاثف عند تبريد الهواء مع المحافظة على نسبة رطوبة ثابتة W



درجة الندى هي الدرجة التي عندها يتكاثف بخار الماء الموجود في الهواء، ويمكن قراءتها عند خط التشبع من قراءات درجة الحرارة الرطبة أو الجافة . وهي تقع على اليسار أفقيا كما يشير السهم إلى ذلك.

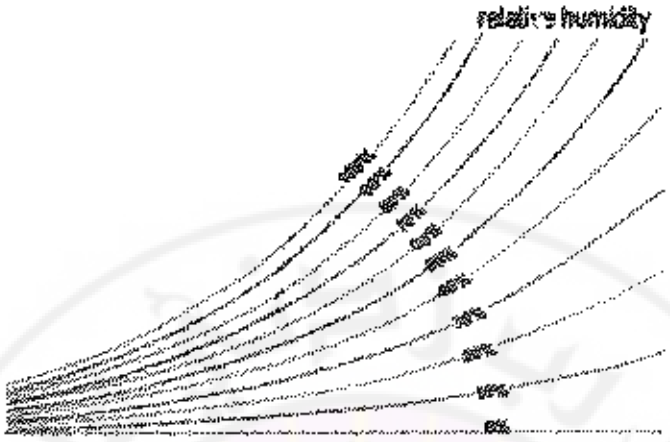
٧-١٠ الرطوبة النسبية للهواء الرطب:

وهي تساوي نسبة وزن بخار الماء الموجود في حجم معين من الهواء الرطب وهو غير مشبع إلى وزن بخار الماء الموجود في الحجم نفسه من الهواء وهو مشبع. أي هي مقياس لنسبة كمية رطوبة الهواء إلى الكمية القصوى التي يمكن أن يحملها الهواء عند درجة الحرارة نفسها كما في الشكل التالي:



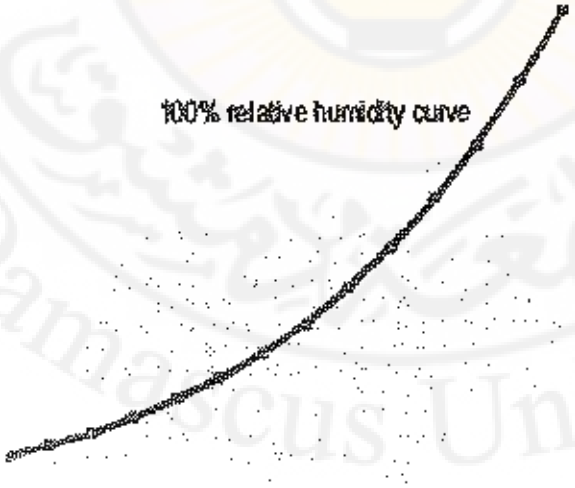
فمثلا عند 25°C نجد أن كمية الرطوبة التي يمكن أن يحملها الهواء تصل إلى 20 g/kg ، وعليه إذا كانت كمية الرطوبة الموجودة في الحيز تساوي 10 g/kg فإن الرطوبة النسبية حينئذ تكون:

$$RH = 0 \quad = \frac{10}{20} = 0.50 = 50\%$$



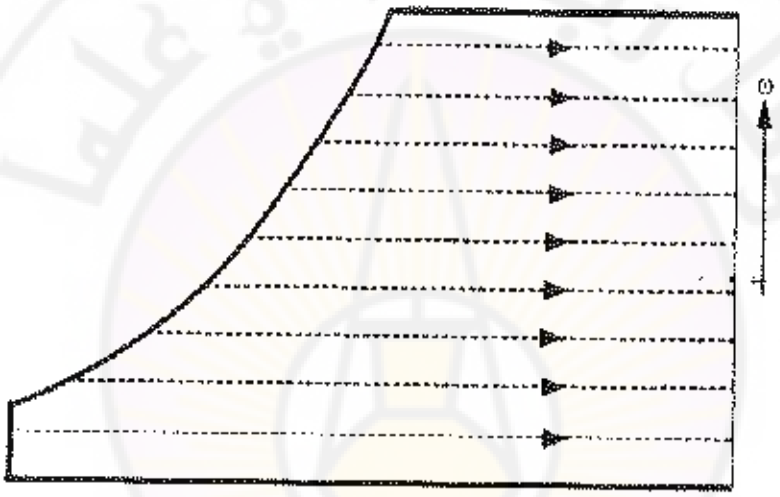
٨-١٠ خط الإشباع :

عندما تكون الرطوبة النسبية relative humidity مساوية 100% أي أن الهواء مشبع ببخار الماء، وزادت كمية بخاء الماء بمقدار ما فإن مقداراً مساوياً له سوف يتكاثف .



١٠-٩ نسبة الرطوبة (الرطوبة النوعية) للهواء :

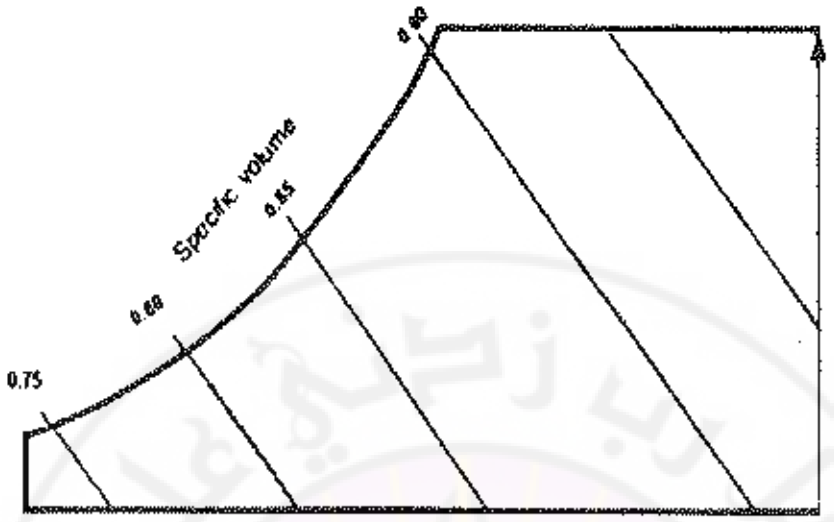
نسبة الرطوبة أو الرطوبة النوعية للهواء، وهي كمية بخار الماء مقدرة بـ (kg_v) والموجودة في (1 kg_{dryair}) من الهواء الجاف و يرمز لها $w=\frac{kg_v}{kg_{dryair}}$ و تقرأ من على يمين المخطط السايكومتري كما هو موضح بالشكل التالي.



١٠-١٠ الحجم النوعي للهواء الرطب:

إن الحجم النوعي v للهواء الرطب بالنسبة لـ kg_{dryair} 1 من الهواء الجاف هو نسبة الحجم الكلي للهواء إلى كتلة الهواء الرطب.

$$v=\frac{V}{M_a+M_w}\ldots\ldots\ldots\ldots\left(\frac{m^3}{kg}\right)$$



١٠-١١ انتالبي الهواء الرطب:

(و هي كمية الحرارة الموجودة في مقدار من الهواء)

إن انتالبي خليط من الهواء الجاف و بخار الماء، يساوي إلى مجموع انتالبي الهواء الجاف وانتالبي بخار الماء، ومنه فإن انتالبي الهواء الرطب بالنسبة لـ ١كغ هواء جاف يساوي

$$h = h_a + w \cdot h_w$$

حيث: h - انتالبي الهواء الرطب J/kg

h_a - انتالبي ١كغ من الهواء الجاف J/kg

w - نسبة الرطوبة kg/kg_{dryair}

h_w - انتالبي 1 kg من بخار الماء J/kg

إن انتالبي الهواء الجاف يتغير تبعا لدرجة الحرارة، و إن قيمته التقريبية تحسب من العلاقة التالية وذلك في المجال (60°C - 0°C)

$$h_a = 1.007 \cdot t + 0.026 \quad (J/kg)$$

حيث:

t - درجة الحرارة الجافة للهواء

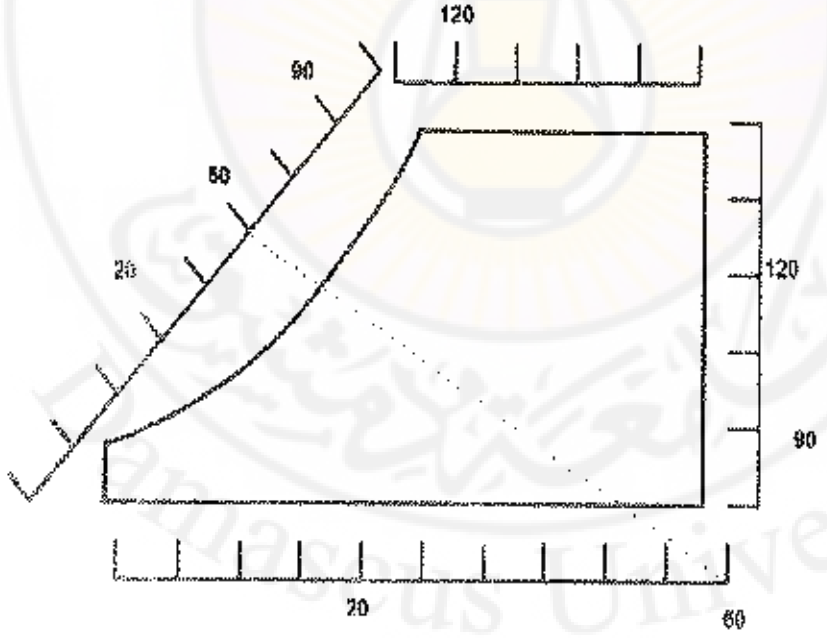
كما أن انتالبي 1 kg من بخار الماء يساوي إلى :

$$h_w = 2500 + 1.84 \times t \quad (J/kg)$$

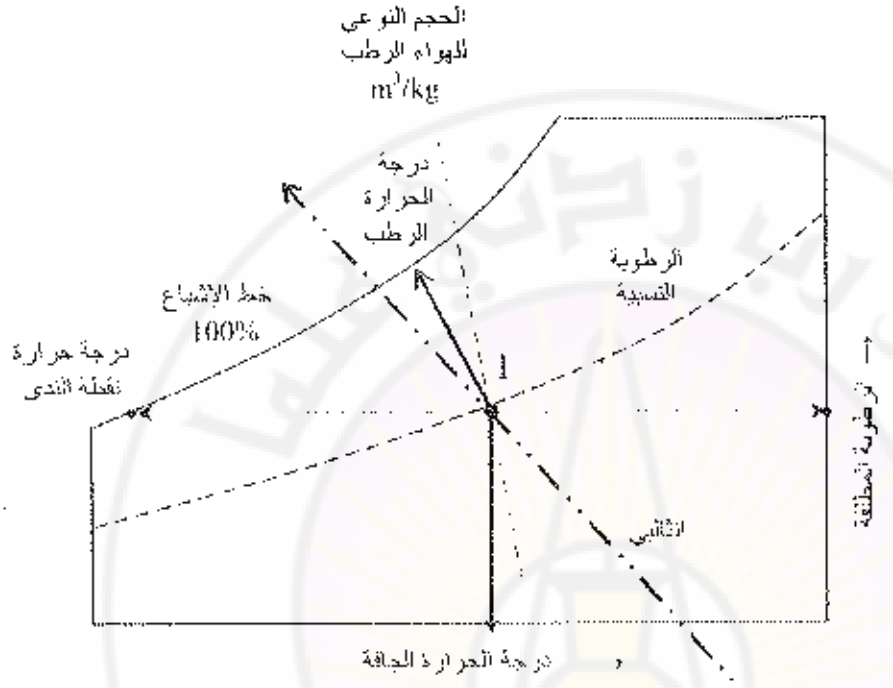
انتالبي الهواء الرطب بالنسبة 1 كغ من الهواء الجاف :

$$h = (1.007 \cdot t - 0.026) + \omega.(2500 + 1.84 \cdot t) \quad (J/kg)$$

خطوط ثبات الإنتالبي توجد على أطراف المخطط السايكومتري، وبعض المراجع ترسم خطوط الانتالبي على المخطط مباشرة، وهي قريبة إلى حد ما من خطوط ثبات درجة الحرارة الرطبة. لتحديد قيمة الإنتالبي على المخطط يجب أن يتطابق رقمان لهما القراءة نفسها كما في الشكل التالي:



لتحديد خاصية الهواء عند أي حالة يجب معرفة اثنتين من الخواص السبع السابقة. يبين المخطط السايكومتري التالي جميع خواص الهواء الرطب لحالة معينة بالنقطة رقم - ١



١٠-١٢ راحة الإنسان و منطقة الراحة:

يحافظ الجسم البشري على توازن حراري مع الوسط المحيط عن طريق التبادل الحراري الذي يشمل :

ا التبخر (حوالي % 25)

ب- الإشعاع (حوالي % 45)

ج- الحمل (حوالي % 30)

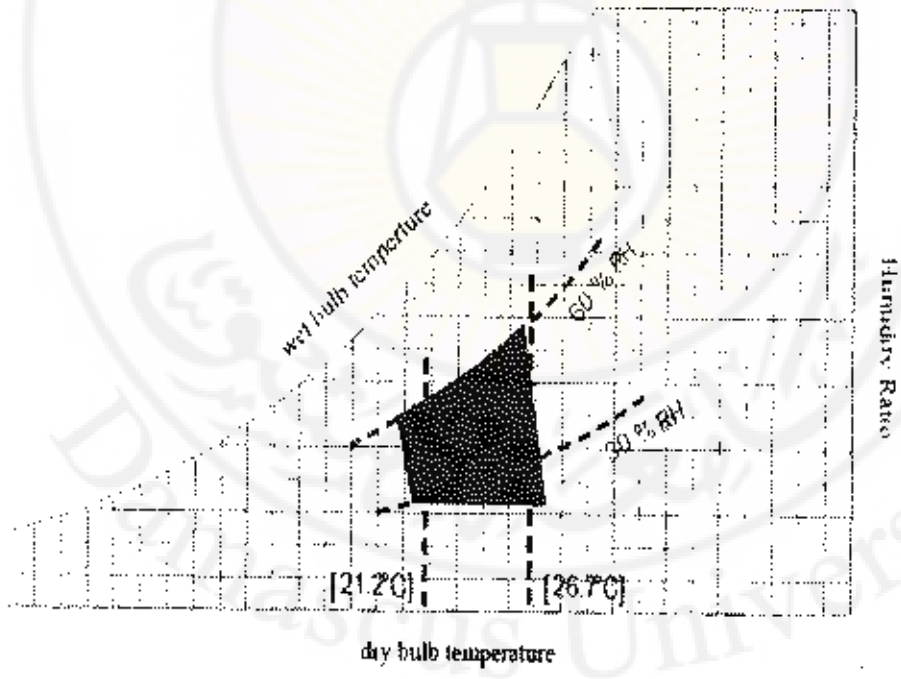
أن درجة حرارة جسم الإنسان هي 37 °C ، وكي يتخلص الجسم من الحرارة يجب أن يوجد في مناخ درجة حرارته اقل من 37 °C و عملية الطرح الحراري هذه تسمى الحرارة المحسوسة لجسم الإنسان، وفي حال ارتفاع الحرارة أعلى من

37 °C فإن الجسم يلجأ إلى وسيلة أخرى هي تبخير العرق من على سطح جلد جسم الإنسان و عملية الطرح الحراري هذه تسمى بالحرارة الكامنة لجسم الإنسان وكلتا الوسيلتين مكملتان لبعضهما في عملية الطرد الحراري

تعتمد الوسيلة الأولى على فارق درجة الحرارة و الثانية تعتمد على رطوبة المكان، وبالتالي زيادة الرطوبة تنقص من معدل التبخير و هنا يشعر الإنسان بالضيق.

يبين الشكل التالي منطقة الراحة المناسبة للإنسان في الصيف والشتاء، ونلاحظ بأنها محصورة بين درجة حرارة 21°C ودرجة حرارة 27°C و رطوبة تقع بين 30% و 60%.

يبين المخطط التالي منطقتي الراحة صيفاً و شتاءً على المخطط السايكومتري



منطقة الراحة الخاصة بالإنسان

يفضل شتاءً أن تكون الرطوبة النسبية في الحدود من (30% - 35%) ودرجة الحرارة الجافة في الحدود (24°C- 22) م بينما صيفاً يفضل أن تكون الرطوبة النسبية في الحدود (45- 50%) ودرجة الحرارة الجافة في الحدود من (26°C- 24°C).

باستخدام المخطط السيكرومتري يمكن معرفة ما يجب إجراءه للهواء الخارجي وتحديده قبل تغذيته للمكان المراد تكييفه لتحقيق الرطوبة ودرجة الحرارة الجافة الأكثر راحة.


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الحادي عشر
العمليات السايكومترية
على الهواء الرطب
Air moist Psychometric Processes

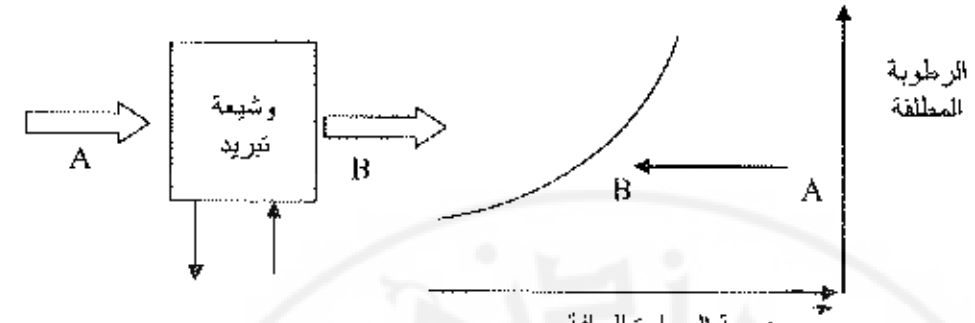
١١-١ العمليات السايكومترية:

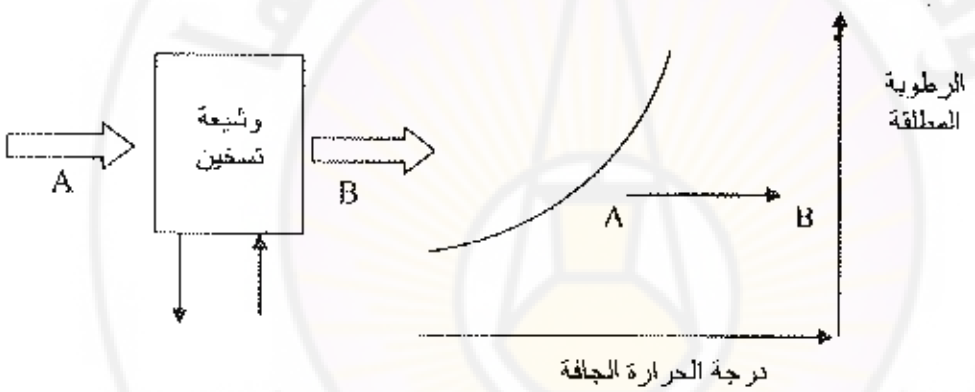
المقصود بالعمليات السايكومترية: العمليات المتكاملة التي تنفذ على الهواء للوصول إلى حالة الهواء الداخلي المطلوبة وهي عمليات (مزج ، تسخين، ترطيب، أو إزالة رطوبة) بالإضافة إلى التحكم بمعدلات التهوية اللازمة مع مراعاة حالة الهواء الخارجي خلال الأجواء المناخية المختلفة. وقبل البدء نوضح التحليل العام للمكان المكيف و جهاز تكييف الهواء المناسب .

عند معالجة الهواء الرطب تبقى كمية الهواء الجاف ثابتة بينما تتغير كمية بخار الماء التي يحتويها و كذلك درجة حرارته ويوجد في التكييف خمس عمليات نموذجية يمكن تمثيلها على المخطط السايكومتري:

١١-٢ التبريد والتسخين المحسوس :

العمليات الحرارية المحسوسة هي عمليات يتم فيها إضافة حرارة (تسخين) أو إزالتها (تبريد) من الهواء دون حدوث تغير في نسبة الرطوبة (مثال ذلك التدفئة الشتوية). هذه العمليات تمثل على المخطط السايكومتري بخطوط افقية موازية لخط درجة الحرارة الجافة





نتيجة للتبريد أو التسخين المحسوس يحدث تغير في درجة الحرارة الجافة، درجة الحرارة الرطبة ، الإنتالبي ، الحجم النوعي والرطوبة النسبية .

	درجة الحرارة الجافة	درجة الحرارة الرطبة	الرطوبة النسبية	الرطوبة المطلقة	الحجم النوعي	الإنتالبي	درجة حرارة الندى
التبريد المحسوس	↓	↓	↑	←	↓	↓	←
التسخين المحسوس	↑	↑	↓	→	↑	↑	→

حيث يشير كل سهم كما يلي: ← ثبوت الخاصية، ↑ زيادة الخاصية، ↓ نقصان الخاصية

١- **التسخين المحسوس:**

هو إعطاء الهواء كمية من الحرارة المحسوسة، و يحدث هذا النوع من التسخين عندما يتدفق الهواء عبر سطح وشيعة تسخين . و يتم التسخين في هذه الحالة مع ثبات نسبة الرطوبة، بينما تزداد درجة الحرارة الجافة و الرطبة للهواء نتيجة لإعطائه كمية من الحرارة كما يزداد انتالبي الهواء. أما الرطوبة النسبية فتنقص و تبقى درجة حرارة الندى ثابتة.

$$Q_s = m \cdot (h_2 - h_1) = m \cdot C_a \cdot (t_2 - t_1)$$

حيث:

C_a - الحرارة النوعية للهواء و تساوي 1026 J/kg.°C

٢- **التبريد المحسوس:**

هو عبارة عن أخذ كمية من الحرارة المحسوسة من الهواء، ويحدث هذا النوع من التبريد عندما يتدفق الهواء عبر وشيعة تبريد، ويتم هذا الإجراء عند كمية رطوبة ثابتة، ويلاحظ انخفاض درجة حرارة الهواء الجافة و الرطبة، اما الرطوبة النسبية فتزداد و تبقى درجة حرارة الندى ثابتة.

تحسب استطاعة التبريد من العلاقة التالية

$$Q_s = m \cdot (h_1 - h_2) = m \cdot C_a \cdot (t_1 - t_2)$$

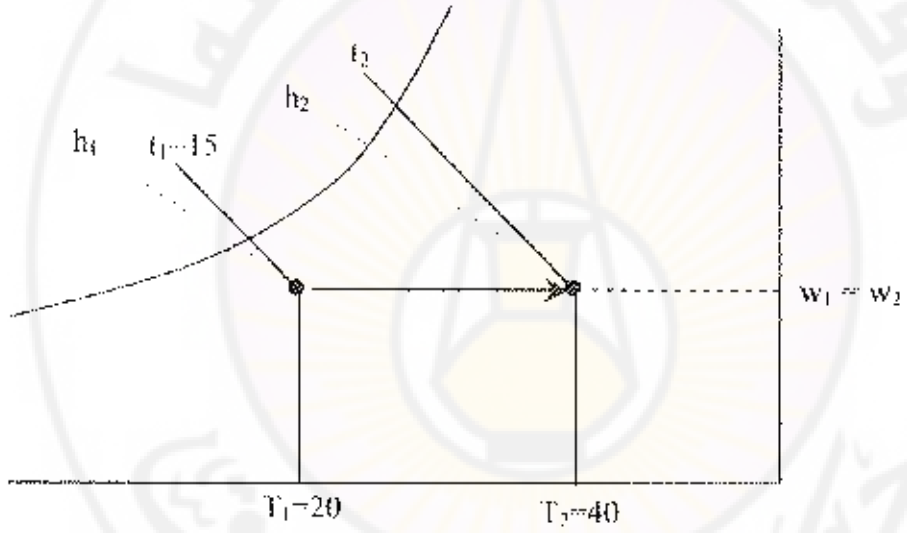
حيث:

C_a - الحرارة النوعية للهواء و تساوي 1026 J/kg.°C

مثال:

أحسب استطاعة وشيعة التسخين المحسوس إذا كان معدل التدفق الحجمي للهواء الذي يمر خلالها $2\ m^3/sec$ و درجة حرارة دخول الهواء $t = 20\,^{\circ}C$ ودرجة حرارة الدخول الرطبة $t_W = 15\,^{\circ}C$ حيث ارتفعت درجة حرارة الهواء عند مخرج الوشيعة 40°C .

احسب تدفق الماء اللازم للوشيعة إذا علمت أن درجة حرارة دخول الماء °C 85 و الخروج تساوي 65°C



$$Q_S = m_a \times (h_2 - h_1) - m_a \times C_a \times (t_2 - t_1)$$

$$Q_S = m_a \times (h_2 - h_1)$$

$$Q_S = \frac{2}{0.842}(62 - 41.5) = 48.69\ kW$$

أو

$$Q_S = m_a \times C_a \times (t_2 - t_1)$$

$$Q_S = \frac{2}{0.842} \times 1.026 \times (40 - 20) = 48.74\ kW$$

إن ما يكسبه الهواء من حرارة يفقده الماء و بذلك يكون

$$Q_S = Q_W = m_w \times C_w \times (t_{w2} - t_{w1})$$

$$48.7 = m_w \times 4.18 \times (85 - 75) \Rightarrow m_w = 0.5825\ kg/s$$

مثال:

أحسب استطاعة وشيعة التبريد التي تخفض درجة حرارة الهواء بمقدار 15°C إذا كان معدل التدفق الحجمي للهواء الذي يمر خلالها $1.5\ m^3/s$ ودرجة حرارة دخول الهواء $t = 40°C$ ورطوبته النسبية 20%

احسب تدفق الماء اللازم للوشيعة إذا علمت أن درجة حرارة دخول الماء 7 °C والخروج تساوي 12°C .

$$Q_S = m_a \times (h_1 - h_2) = \frac{1.5}{0.91} \times (66 - 50.6) = 25.38\ kW$$

$$Q_S = m_a \times C_a \times (t_1 - t_2) = \frac{1.5}{0.91} \times 1.026 \times (15) = 25.37\ kW$$

$$Q_S = Q_W = m_w \times C_w \times (t_{w2} - t_{w1})$$

$$\Rightarrow m_w = \frac{25.37}{4.18 \times (12 - 7)} = 1.21\ kg/s$$

٣-١١ التبريد مع إزالة رطوبة:

و هي عملية تبريد الهواء إلى درجة حرارة أقل من درجة حرارة نقطة الندى. ويتم ذلك بإمرار الهواء الرطب عبر وشيعة تبريد حرارتها أخفض من درجة حرارة نقطة الندى للهواء الرطب فيحدث تكاثف للبخار وتنخفض نسبة الرطوبة نتيجة ذلك مع انخفاض درجة الحرارة الجافة والرطبة، كما تنخفض درجة حرارة نقطة الندى و انتالبي الهواء .أما الرطوبة النسبية فتزداد.

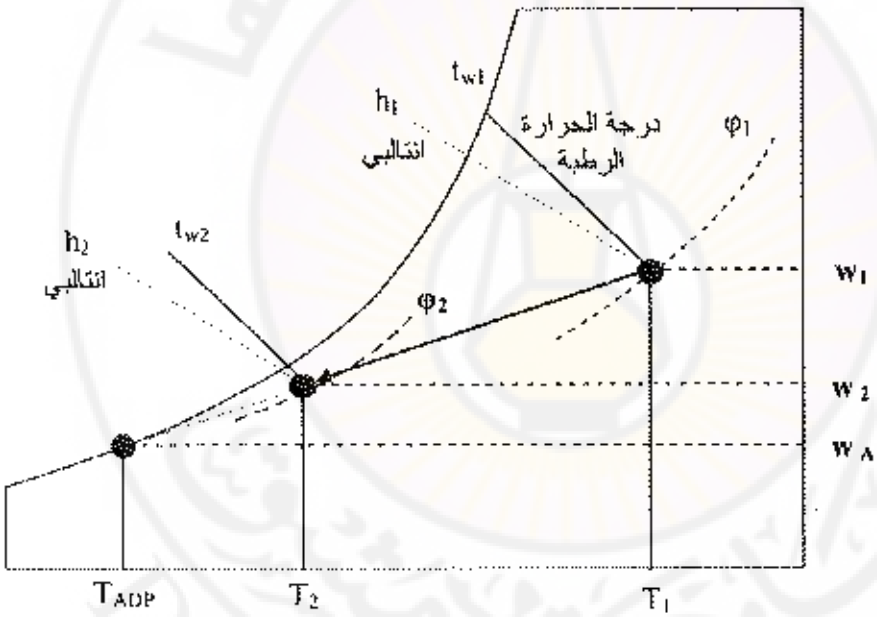
و يعبر عن مردود وشيعة التبريد كما يلي:

عامل التلامس Contact Factor:

$$\eta = C.F = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_A} = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_A} = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_A}$$

عامل التحويل Bypass Factor:

$$B.F = 1 - C.F = \frac{h_2 - h_A}{h_1 - h_A}$$

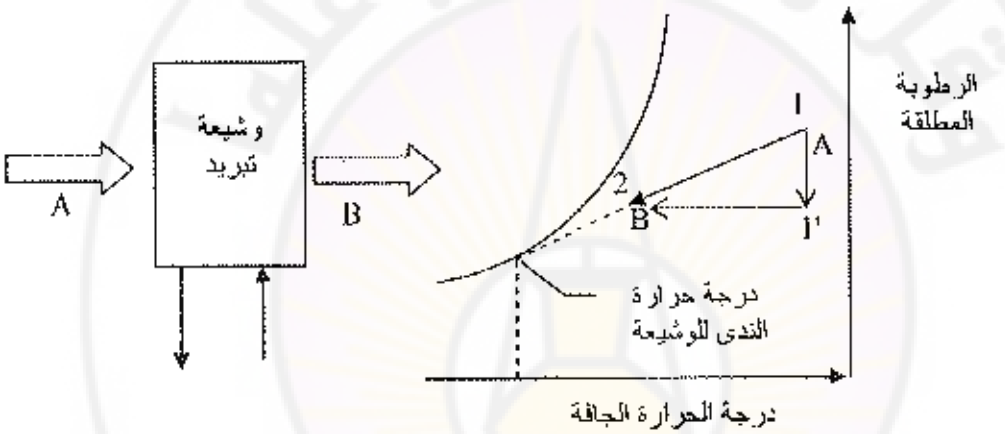


١١- ٤ درجة الندى للجهاز :

تتكون وشيعة التبريد المستخدمة لتبريد الهواء وإزالة رطوبته من مجموعة من الأنابيب المجهزة بزعانف (Fins) الأنابيب مرتبة في صفوف، وعند زيادة عددها تقترب درجة حرارة الهواء النهائية من درجة حرارة السطح الخارجي

لوشيعة التبريد. مع زيادة مساحة السطح الخارجي للوشيعة بحيث تكون درجة حرارة الهواء مساوية لدرجة حرارة سطح الوشيعة، فإن الهواء يصبح مشبعا ببخار الماء وتكون درجة حرارته مساوية لدرجة الندى.

وحيث أن وشيعة التبريد توجد داخل جهاز التكييف فإن درجة حرارة السطح الخارجي للوشيعة تعرف بدرجة الندى للجهاز.



$$Q = Q_S + Q_L$$

$$Q = m_a \times (h_1 - h_2)$$

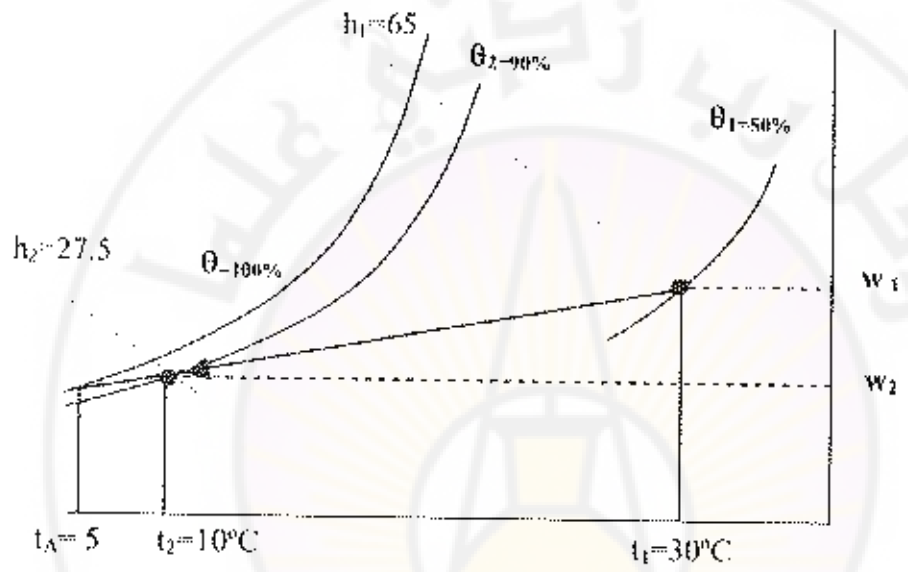
$$Q_S = m_a \times (h_1 - h_2)$$

$$Q_L = m_a \times (h_1 - h_1)$$

$$t_A = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2}$$

مسألة:

يتدفق هواء رطب خلال وشيعة تبريد بمعدل 2.5 m^3/s درجة حرارته الجافة $t = 30\,^{\circ}C$ ورطوبته النسبية 50% و يخرج برطوبة 90% وبدرجة حرارة 10 °C . احسب الاستطاعة التبريدية الكلية للوشيعة بالطن التبريدي:



$$Q = Q_S + Q_L = m_a \times (h_1 - h_2) = \frac{2.5}{0.875}(65 - 27.5) = 107.14\ kW$$

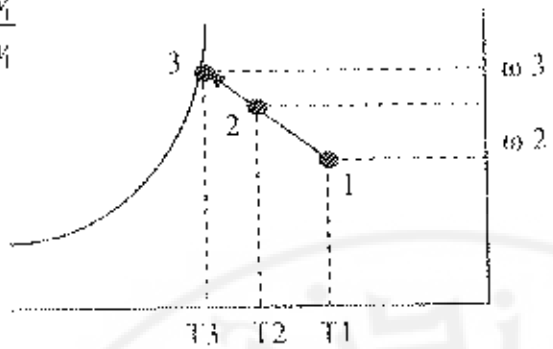
ملاحظة كل 1 طن تبريدي يساوي 3.517 كيلووات

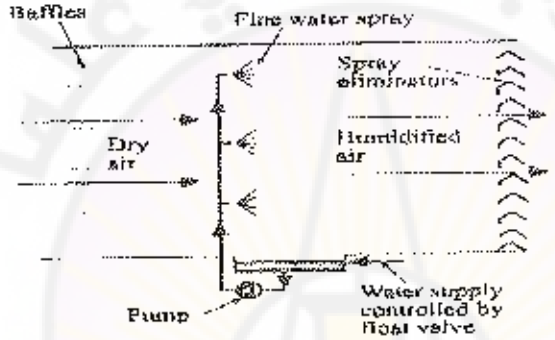
$$Q = \frac{107.14}{3.517} = 30.46\ RT$$

١١ـ ٥ ترطيب الهواء :

و يتم بإضافة كمية من الرطوبة إلى الهواء، ويضاف الماء عادة في جهاز ترطيب ضمن المجرى أو ضمن وحدة معالجة الهواء أو في الغرفة المكيفة. و تقاس فعالية الترطيب بالنسبة:

$$\eta = \frac{W_2 - W_1}{W_3 - W_1}$$





و تعمل المرطبة بحسب درجة حرارة الماء المستخدم فيها بعدة حالات:

1- ترطيب اديباتي:

غرفة الترطيب و الحوض في حالة عزل تام، إعادة استعمال ماء الترطيب كليا مع عدم وجود تبادل حراري في انابيب الماء و في الحوض.

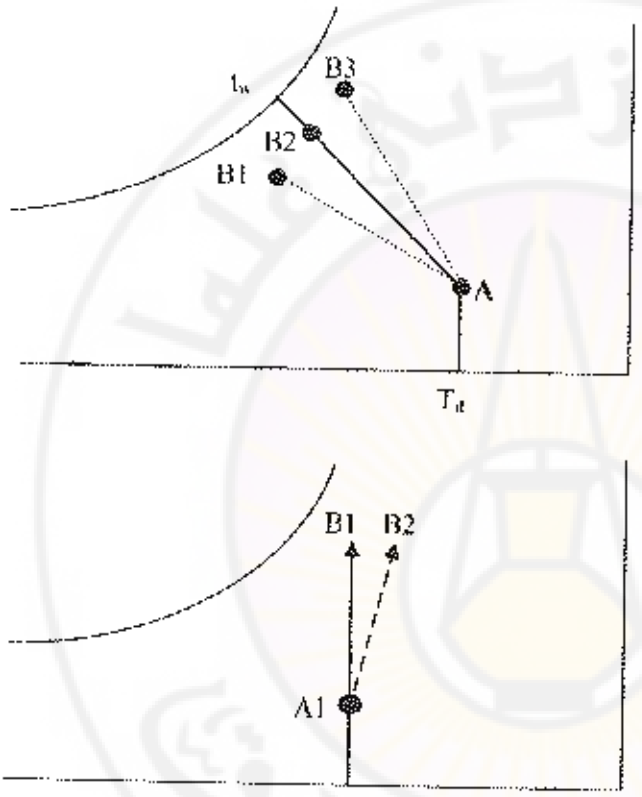
درجة حرارة الماء المضاف للتعويض عن الماء المتبخر هي درجة حرارة الإشباع الأديباتية

وفي هذه الحالة يتبع الإجراء خط الانثالبي الثابتة.

في درجات الحرارة المستعملة في التكييف يتبع الإجراء خط درجة الحرارة الرطبة (باعتبار درجة الحرارة الرطبة تساوي درجة حرارة الإشباع الاديباتي).

٢ـ التـرطيب بماء ذي درجات حرارة مختلفة.

يتم بخ الماء ضمن مجرى الهواء، ونلاحظ أن الإجراء على المخطط السايكومتري يتم بحسب درجة حرارة الماء:



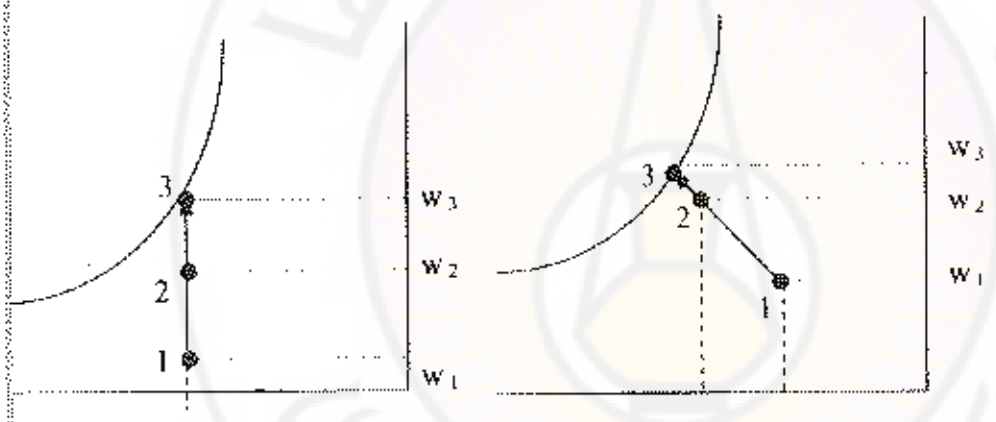
١ـ إذا حقن الماء عند درجة حرارة أقل من درجة الحرارة الرطبة للهواء عندئذ تتبع العملية الخط (AB1)

٢ـ إذا حقن الماء عند درجة حرارة مساوية لدرجة الحرارة الرطبة للهواء عندئذ تتبع العملية الخط (AB2)

٣ـ إذا حقن الماء عند درجة حرارة أعلى من درجة الحرارة الرطبة للهواء. فعندئذ تتبع العملية الخط (AB3)

٤- الترطيب بالبخار : يحدث التغير من النقطة A إلى B عند خط درجة حرارة جافة ثابتة تقريباً. و يكون الترطيب وفق الخط A - B1 أما إذا كان البخار زائد التحميص فعندها ترتفع درجة حرارة الهواء قليلا تبعا لدرجة حرارة زيادة التسخين ويحدث التغير وفق الخط (A-B2)

عندما يكون الترطيب بالماء نعتبر التحول للهواء الرطب باتجاه درجة الحرارة الرطبة لهذا الهواء على المخطط السايكومتري . وعند الترطيب بالبخار (بدرجة حرارة أكبر من 100°C) نعتبر اتجاه التحول للهواء الرطب بشكل تقريبي مطابقا لدرجة الحرارة الجافة لهذا الهواء.



مثال:

هواء رطب درجة حرارته الجافة 25°C و الرطبة 15°C يمر خلال مرطبة تعمل بالماء فانخفضت درجة حرارته الجافة إلى 17 °C فإذا كان معدل حقن الماء $M_w = 0.002$ kg/s لكل 1 كغ هواء جاف.

احسب:

١- نسبة الرطوبة

٢- ٢- الانثالبي

الحل:

$M = 1 \ kg/s$

$M_w = 0.002 \ kg/s$

$M \times w_1 + M_w = M \times w_2$

$\Rightarrow 1 \times 0.0082 + 0.002 = 1 \times w_2$

$\Rightarrow w_2 = 0.0102 \ kg / kg_{dryair}$

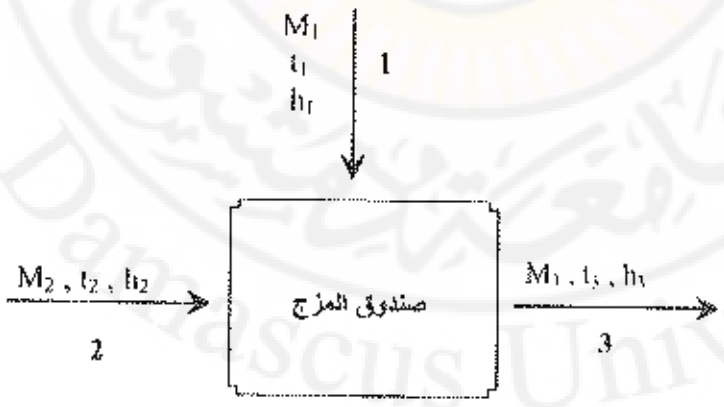
$h = (1.007 \times t - 0.026) + W \times (2500 + 1.84 \times t)$

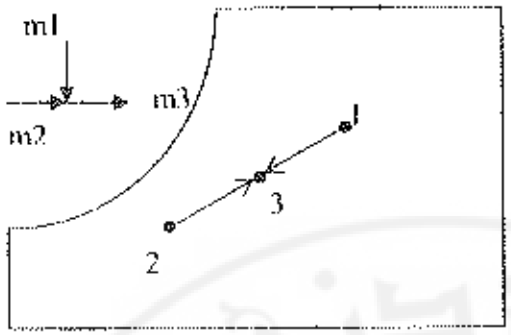
$h = (1.007 \times 17 - 0.026) + 0.0102 \times (2500 + 1.84 \times 17) = 42.9 \ kJ/kg$

٦ ـ ١١ مزج تيارين من الهواء الرطب:

عند مزج الهواء في الحالة 1 مع هواء الحالة 2 فإنّ الحالة 3 تقع على الخط الواصل بينهما، ويمكن تعيينها من المعادلات التالية:

الشكل التالي يوضح عملية الخلط الأديباتي حيث M_1 و M_2 تياران من الهواء، تم خلطهما مع بعض ليُنتج مزيجاً كتلته M_3 و خواصه كما تبينه النقطة رقم 3





إن المحتوى الحراري للهواء في (الحالة 1 + الحالة 2 = الحالة 3)

$$M_1 \times h_1 + M_2 \times h_2 = M_3 \times h_3$$

و لكن هناك قانون مصونية الكتلة فيجب أن يتحقق

$$M_1 + M_2 = M_3$$

كما أن محتوى الرطوبة للهواء في (الحالة 1 + الحالة 2 = الحالة 3)

$$M_1 \times w_1 + M_2 \times w_2 = M_3 \times w_3$$

$$h_3 = \frac{M_1 \times h_1 + M_2 \times h_2}{M_3} = \frac{M_1 \times h_1 + M_2 \times h_2}{M_1 + M_2}$$

$$t_3 = \frac{M_1 \times t_1 + M_2 \times t_2}{M_3} = \frac{M_1 \times t_1 + M_2 \times t_2}{M_1 + M_2}$$

$$w_3 = \frac{M_1 \times w_1 + M_2 \times w_2}{M_3} = \frac{M_1 \times w_1 + M_2 \times w_2}{M_1 + M_2}$$

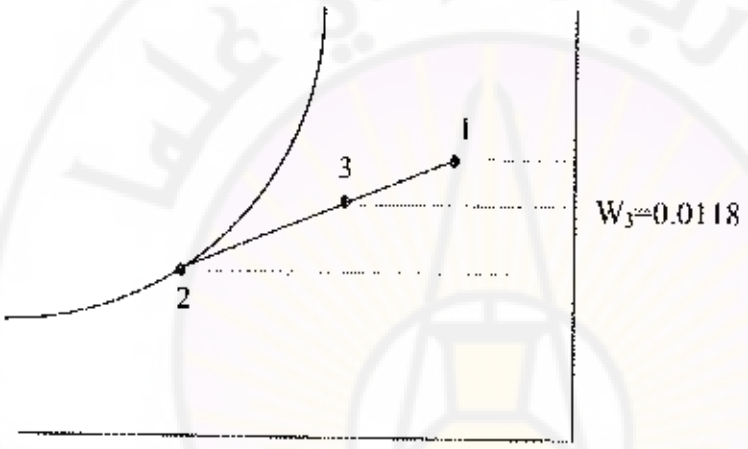
مثال :

هواء رطب درجة حرارته الجافة 60 °C درجة و الرطبة 32 °C يمزج بشكل ادياتي مع هواء رطب حرارته الجافة 5°C والرطبة 0.5°C فإذا كان تدفق الهواء الأول يساوي $M_1=3$ kg/s و تدفق الهواء الثاني يساوي $M_2=2$ kg/s

احسب انتالبي الهواء الممزوج و درجة حرارته الجافة و تأكد من القيم من المخطط السايكومتري.

الحل:

من المخطط نجد :



$$w_1 = 0.0185\ kg\ /\ kg_{dryair}$$

$$w_2 = 0.02\ \ kg/kg_{dryair}$$

$$w_3 = \frac{M_1 \times w_1 + M_2 \times w_2}{M_3} = \frac{M_1 \times w_1 + M_2 \times w_2}{M_1 + M_2}$$

$$w_3 = \frac{3 \times 0.0185 + 2 \times 0.002}{3+2} = 0.0118\ \ kg\ /\ kg_{dryair}$$

$$h_3 = \frac{M_1 \times h_1 + M_2 \times h_2}{M_3} \Rightarrow h_3 = \frac{3 \times 108 + 2 \times 10}{3+2} = 68.8\ \ kJ/kg$$

$$T_3 = \frac{M_1 \times t_1 + M_2 \times t_2}{M_3} \Rightarrow T_3 = \frac{3 \times 60 + 2 \times 5}{3+2} = 38°C$$

١١-٧ أساليب تكييف الهواء

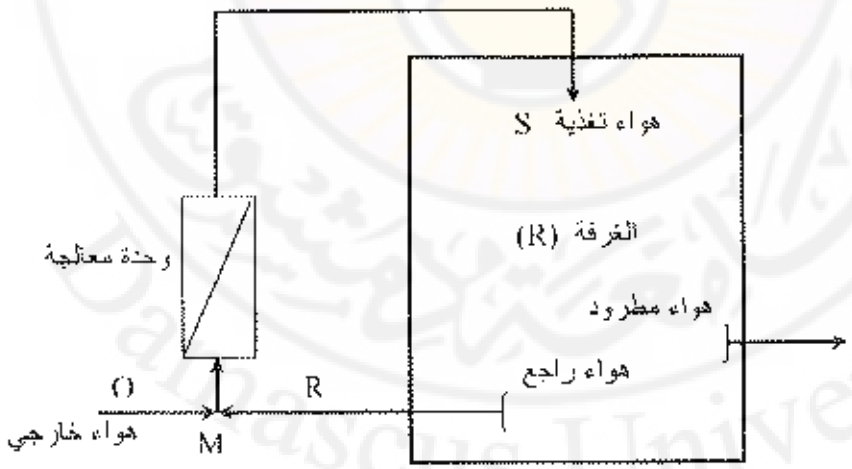
١. نظام الخلط :

في هذا النظام يتم خلط الهواء الخارجي النقي m_0 مع الهواء الراجع m_R ، ومن ثم معالجة الهواء الخليط في المكيف ، ثم تغذية الهواء المعالج للغرفة المراد تكييفها بمعدل هواء m_S أي أن:

$$m_S = m_0 + m_R$$

في داخل الغرفة المراد تكييفها يتحول الهواء المغذى بحالة S إلى الحالة R نتيجة لإزالة الأحمال الحرارية الداخلية بالغرفة و من ثم يتم سحب جزء من الهواء إلى المكيف و يسمى بالهواء الراجع و يتم طرد المتبقي من الهواء إلى خارج النظام، و عادة تتراوح نسبة الهواء النقي

$$\frac{m_0}{m_s} = 8\% - 25\%$$



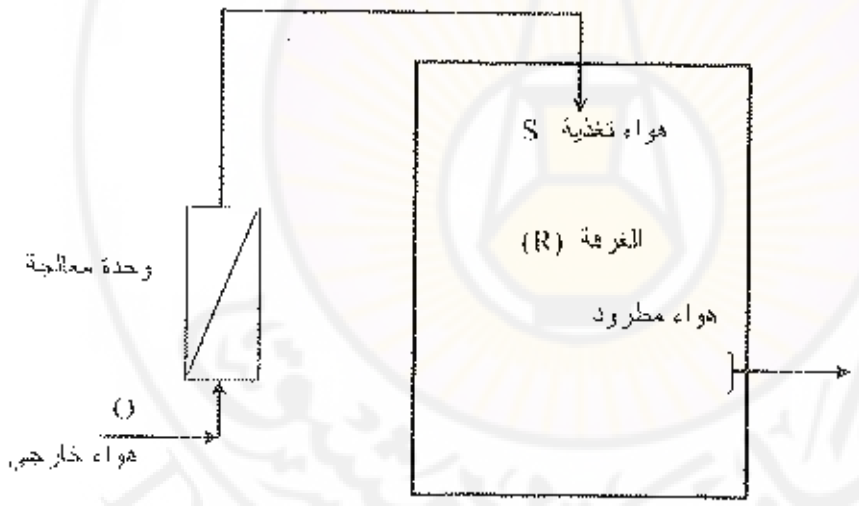
٢. **نظام جميع الهواء من الخارج:**

في هذا النظام يتم إدخال الهواء النقي الخارجي m_0 على وحدة المعالجة ومعالجته ثم تغذيته للغرفة المراد تكييفها بمعدل هواء m_S أي أن :

$$m_S = m_0$$

و في داخل الغرفة يتعرض الهواء المغذى بحالة S إلى الحالة R نتيجة لإزالة الأحمال الحراري الداخلية بالغرفة و يتم طرد الهواء بالكامل خارج النظام و تكون نسبة الهواء النقي

$$\frac{m_0}{m_S} = 100\ \%$$



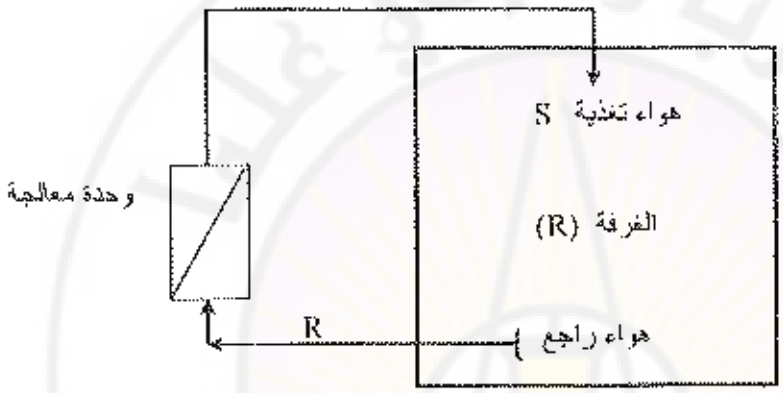
ونظام جميع الهواء من الخارج يطبق في مجالات محددة لأن هذا النظام يستهلك قدرا كبيرا من الطاقة ، ومن الأمثلة على هذا النظام تكييف غرف العمليات والعناية المركزة والاستقبال في المستشفيات .

٣. نظام جميع الهواء راجع:

في هذا النظام يتم إدخال الهواء الراجع m_R إلى وحدة المعالجة

ويتم تغذية الهواء المعالج للغرفة المراد تكييفها بمعدل هواء m_S أي

$m_S = m_R$ وتكون نسبة الهواء النقي $\frac{m_0}{m_S} = 0\ \%$



٨-١١ تكييف الهواء في المناطق الرطبة صيفا

١- حالة التصميم الخارجية O :

تتميز حالة الهواء في هذه المناطق الرطبة صيفا بأنها حارة نوعا ما مع ارتفاع محتوى الرطوبة

٢- حالة التصميم الداخلية R :

تحدد بحسب التطبيقات إما للراحة، ويجب أن تقع في منطقة الراحة أي درجة الحرارة من 21 °C إلى 27 °C والرطوبة النسبية من 30% إلى 60% .

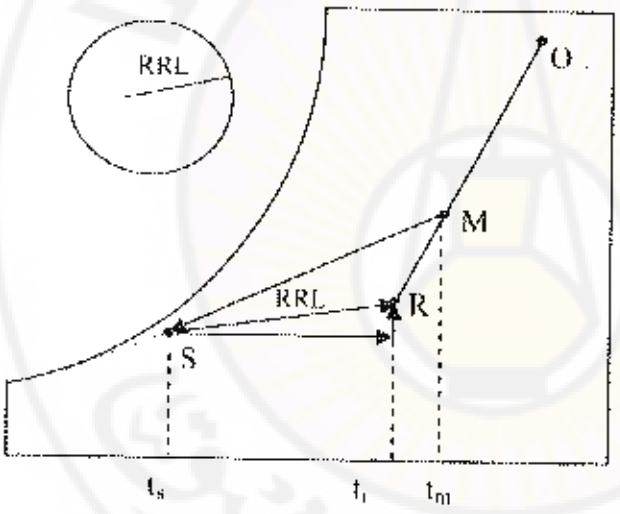
أو حسب التطبيقات الصناعية و يتبع ذلك لشروط المنتج

٣ **الأحمال الحرارية الداخلية :**

طبيعة الأحمال الداخلية صيفا يمكن تلخيصها على أنها محسوسة وكامنة

٤ **الأحمال المحسوسة للغرفة Q_S :**

- حمل انتقال الحرارة عبر عناصر مكونات الغرفة
- حمل الإشعاع الشمسي
- حمل الإضاءة
- حمل الحرارة المحسوسة للأشخاص
- حمل التطبيقات المحسوسة



٥ **الأحمال الكامنة للغرفة (Q_L):**

- حمل الحرارة الكامنة للأشخاص
- حمل التطبيقات الكامنة

و يمكن تعيين الحمل الكلي لغرفة من :

$$Q = Q_s + Q_L$$

٦ حالة هواء التغذية S :

استنادا لطبيعة الأحمال السابقة فإن حالة التغذية لها الشروط التالية:

١. أن تكون درجة حرارة الهواء المغذى أقل من درجة الحرارة المطلوبة في الغرفة $t_S < t_R$ وذلك للتغلب على الأحمال المحسوسة الداخلية Q_S

٢. أن يكون محتوى الرطوبة للهواء المغذى أقل من محتوى الرطوبة المطلوبة في الغرفة $W_S < W_R$ وذلك للتغلب على الأحمال الكامنة الداخلية (Q_L)

ويمكن تحديد خط عمل الغرفة و هو الخط S - R كما في الشكل و يكون :

$$Q_T = Q_S + Q_L - m_S \times (h_R - h_S)$$

يحسب معامل الحرارة المحسوسة للغرفة بالعلاقة التالية:

$$RRL = \frac{Q_S}{Q_T}$$

وهو يمثل خط عمل الغرفة ويكون موازيا للخط S-R على المخطط السايكومتري

٧ معدل الهواء الخارجي O :

يعين معدل الهواء الخارجي طبقا للمواصفات الخاصة بكل تطبيق ويكون:

$$m_0 = \frac{V_0}{v_0}$$

نقطة المزج تحدد من العلاقة التالية :

$$\frac{m_0}{m_S} = \left(\frac{t_M - t_R}{t_0 - t_R} \right)$$

$$\frac{m_O}{m_R} = \left(\frac{t_M - t_R}{t_u - t_M} \right)$$ او

يتضح من النظر إلي الإجراء على المخطط السايكومتري أنّ العملية تبريد مع إزالة رطوبة، وذلك باستخدام وشيعة تبريد و تحدد الاستطاعة التبريدية الكلية كما يلي:

$$Q = m_S \times (h_M - h_S)$$

معامل الحرارة المحسوسة للجهاز مواز للخط M-S على المخطط السايكومتري

الاستطاعة التبريدية المحسوسة

$$Q_S = m_S \times C_a \times (t_M - t_S)$$

كمية المياه المتكاثفة

$$W = m_S \times (w_M - w_S)$$

مكونات وحدة المعالجة :

١. مدخل للهواء النقي	٢. مدخل للهواء الراجع
٣. غرفة مزج	٤. فلتر
٥. وشيعة تبريد و إزالة رطوبة	٦. مروحة تغذية

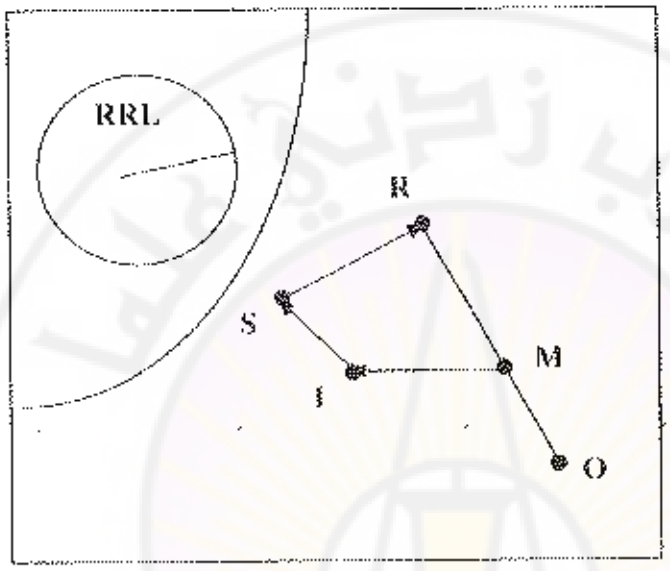
١١ - ٩ <u>تكييف الهواء في المناطق الجافة صيفاً:</u>

في هذه العملية الإجراء هو تبريد ثم ترطيب و ذلك باستخدام وشيعة تبريد ومن ثم رشاشات المياه العادية، وتحسب الاستطاعة التبريدية كما يلي:

$$Q = m_S \times (h_M - h_1)$$

كمية الماء المستهلك في الترطيب:

$$W = m_S \times (w_S - w_1)$$



مكونات وحدة المعالجة :

١. مدخل للهواء النقي	٢. مدخل للهواء الراجع
٣. غرفة مزج	٤. فلتر
٥. وشيعة تبريد	٦. مرطبة أديباتية
٧. مروحة تغذية	

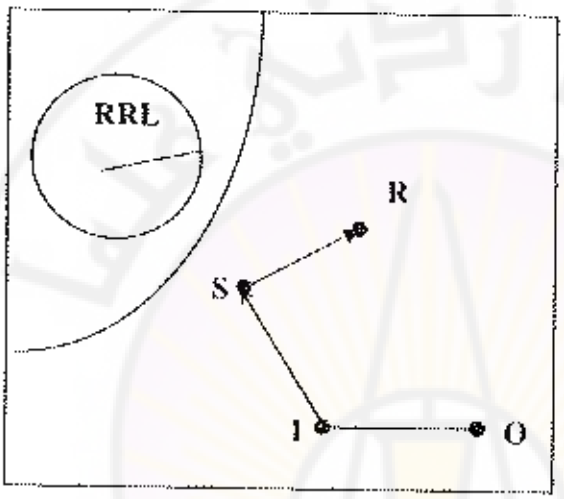
١- <u>حالة جميع الهواء خارجي:</u>

العملية الإجراء هو تبريد ثم ترطيب و ذلك باستخدام وشيعة تبريد ومن ثم رشاشات المياه العادية، وتحسب الاستطاعة التبريدية كما يلي:

$$Q = m_s \times (h_{st} - h_i)$$

كمية الماء المستهلك في الترطيب:

$$W = m_s \times (w_s - w_i)$$



١١-١٠ تكييف الهواء شتاءً:

١- حالة التصميم الخارجية O :

تتميز حالة الهواء شتاء بأنها باردة (درجة حرارة منخفضة) مع انخفاض محتوى الرطوبة

٢- حالة التصميم الداخلية R :

تحدد مسبقا أو تقع في منطقة الراحة

٣- الأحمال الداخلية :

طبيعة الأحمال الداخلية شتاءً، يمكن تلخيصها على أنها محسوسة فقط وتسمى بالفقد الحراري (حمل انتقال الحرارة عبر عناصر مكونات الغرفة المعرضة) وجدير بالذكر أن جميع الأحمال الحرارية التالية لا تعتبر أحمالا في التكييف الشتوي، وإنما تعتبر عامل أمان مساعد في التغلب على الحمل الحراري، وهي (حمل الإضاءة + حمل الحرارة المحسوسة والكامنة للأشخاص + حمل التطبيقات المحسوسة)

٤ - حالة هواء التغذية S

بالنظر إلى طبيعة الأحمال السابقة فإن حالة التغذية لها الشروط التالية:

١. أن تكون درجة حرارة الهواء المغذى أكبر من درجة الحرارة المطلوبة في الغرفة $t_S > t_R$ ، وذلك للتغلب على الحمل الحراري Q

٢. أن يكون محتوى الرطوبة للهواء المغذى مساويا لمحتوى الرطوبة المطلوبة في الغرفة $W_S = W_R$ حيث إنه لا توجد أحمال كامنة داخل الغرفة.

ويمكن تحديد خط عمل الغرفة و هو الخط S-R كما في الشكل و يكون :

$$Q = m_S \times (h_S - h_R)$$

أو

$$Q = m_S \times C_p \times (t_S - t_R)$$

٥ معدل الهواء الخارجي O :

يعين معدل الهواء الخارجي طبقا للمواصفات الخاصة بكل تطبيق ويكون :

$$m_0 = \frac{V_0}{v_0}$$

حيث

m_a - التدفق الكتلي للهواء kg/s

V_a - التدفق الحجمي للهواء m^3/s

v_a - الحجم النوعي للهواء m^3/kg

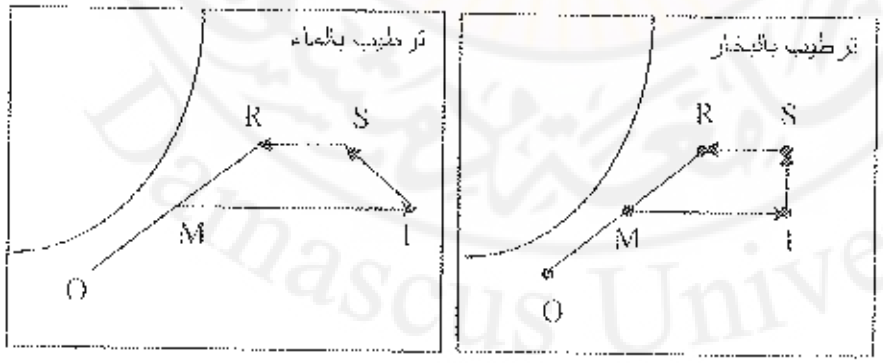
١١-١١ معالجة مزيج الهواء الخارجي مع المعاد (شتاءً):

يتم مزج الهواء الخارجي مع الهواء المعاد من المكان ومن ثم يعالج الهواء بتسخينه و ترطيبه وذلك للحصول على مواصفات هواء التغذية المطلوبة للمكان

تحدد درجة حرارة نقطة المزج من العلاقة التالية :

$$\frac{m_O}{m_S} = \left(\frac{t_R - t_M}{t_R - t_o} \right)$$

يبين الشكل التالي عملية تسخين وترطيب للهواء الأولى بالبخار والثانية بالماء



a - ترطيب الهواء بالبخار b - ترطيب الهواء بالماء

مكونات وحدة المعالجة :

١. مدخل للهواء النقي	٢. مدخل للهواء الراجع
٣. غرفة مزج	٤. فلتر
٥. وشيعة تسخين	٦. مرطبة
٧. مروحة تغذية	

يتضح من النظر إلى الإجراء على المخطط السايكومتري أن العملية هي إجراء تسخين ثم ترطيب، وذلك باستخدام وشيعة تسخين ثم مرطبة مائية أو بخارية وتحسب استطاعة التسخين كما يلي:

$$Q = m_S \times (h_1 - h_M)$$

استطاعة المرطبة

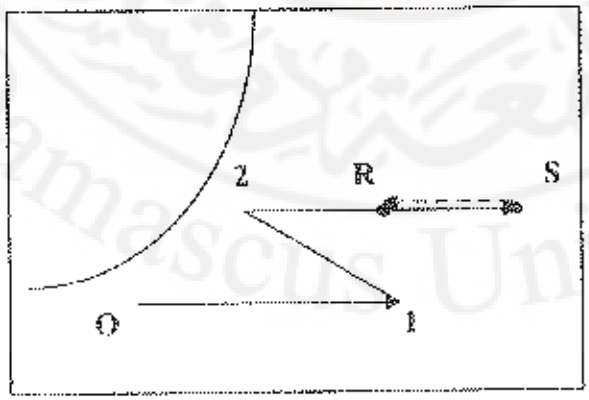
$$W = m_S \times (w_S - w_1)$$

١١-١٢ حالة جميع الهواء خارجي (شتاء):

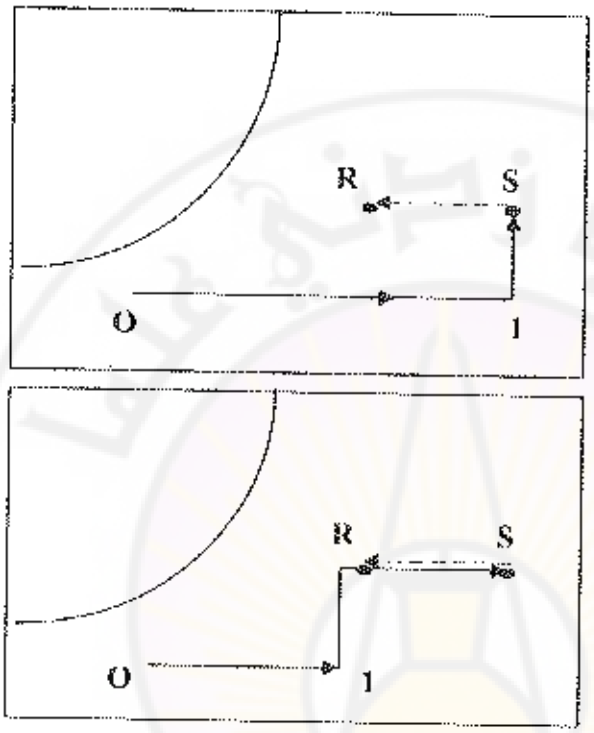
يتم إدخال جميع الهواء من الخارج و تستخدم إما مرطبة بخار أو مرطبة مائية

- في حال استخدام مرطبة مائية:

يدخل الهواء الخارجي و يسخن ابتدائيا ثم يرطب وأخير يعاد تسخينه لتحقيق حالة الهواء المغذى



- في حال استخدام مرطبة بخارية:



يتم التسخين ثم الترطيب لتحقيق حالة الهواء المغذى كما في الشكلين.

إلا أن استخدام سخان أولي و سخان ثانوي يمكن من التحكم على السخان الثانوي ويجعل العملية أدق فنياً من التحكم في سخان واحد كبير.

مكونات وحدة المعالجة :

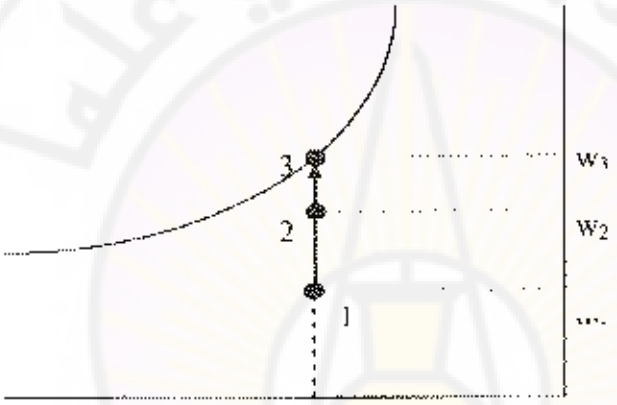
١. مدخل للهواء النقي	٢. فلتر
٣. وشيعة تسخين	٤. مرطبة بخارية
٥. مروحة تغذية	

الحمل الحراري : $Q = m_s \times (h_s - h_a)$

استطاعة المسخن : $Q_a = m_s \times (h_1 - h_0)$

استطاعة المرطبة : $W = m_s \times (w_s - w_1)$

عند الترطيب بالبخار (بدرجة حرارة أكبر من 100°C) نعتبر اتجاه التحول للهواء الرطب بشكل تقريبي مطابقا لدرجة الحرارة الجافة لهذا الهواء.



مثال:

يحقن في تيار من الهواء الرطب درجة حرارته الجافة 28°C والرطبة 18°C بخار ماء بدرجة حرارة 100°C وبكمية تساوي $M_s = 0.01$ kg/kg والمطلوب حساب مواصفات الهواء الرطب بعد المرطبة بالنسبة لتدفق 1 Kg من الهواء الجاف

الحل:

$$M \times w_1 + M_s = M \times w_2$$
$$\Rightarrow 1 \times 0.0086 + 0.01 = 1 \times w_2$$
$$\Rightarrow w_2 = 0.0186 \ kg/kg_{dryair}$$

$$h = (1.007 \times t - 0.026) + W \times (2500 + 1.84 \times t)$$

$$h_2 = (1.007 \times 28 - 0.026) + 0.0186 \times (2500 + 1.84 \times 28)$$

$$h_2 = 75.39 \ \ kJ / kg$$

Damascus University

الفصل الثاني عشر
وحدات معالجة الهواء
Air Handling Units

١٢-١ وحدات معالجة الهواء:

هي الات تقوم بإمداد جميع أجزاء المبنى المراد تكييفه بالهواء الساخن شتاء أو البارد صيفا لتحقيق الراحة الحرارية المطلوبة . ولا تختلف مجموعة إرسال الهواء المكيف عن مجموعة التهوية إلا بأنها تحتوي على أجهزة إضافية لتبريد الهواء وترطيبه بالإضافة إلى أجهزة التحكم المختلفة لتأمين الشروط المطلوبة . وتشمل كما في مجموعة التهوية أجهزة مصافي الهواء وشافع التسخين و المروحة وشبكة توزيع الهواء (المجاري) وفتحات التغذية للهواء .

الشكل يبين وحدة إرسال نموذجية



الأقسام الرئيسية للمجموعة :

١- صندوق المزج .	٢- مصافي الهواء .
٣- وشيعة التسخين الأولية	٤- وشيعة التبريد
٥- المرطبة	٦- مانعة مرور قطرات الماء
٧- وشيعة التسخين النهائية	٨- المروحة

مع العلم أن الأجزاء السابقة ليس بالضرورة أن توجد جميعها ضمن الالة حيث إنه من الممكن ان نستغني عن بعض الأجزاء، وذلك حسب العملية التي تتم معالجة الهواء وفقها سواء كانت تسخينا أو تبريدا أم ترطيبا.

١- صندوق المزج :

ويتم فيه مزج الهواء الجديد مع الهواء المعاد، ويوجد شفرات على مداخل صندوق المزج مركبة بصورة متعاكسة و موصولة مع بعضها بحيث إن زيادة فتحة أحد المدخلين يؤدي إلى إنقاص فتحة المدخل الثاني، وذلك لعيار نسبة المزج وإن إعادة استعمال الهواء المعاد من المكان المكيف يتم لغاية اقتصادية .

٢- مصافي الهواء :

تركب مصافي الهواء عادة بعد صندوق المزج، وتكون على أنواع مختلفة بحسب طبيعة التصفية المطلوبة و نوع المكان المكيف . و منها ما يكون قابلا للغسيل أو الاستبدال .

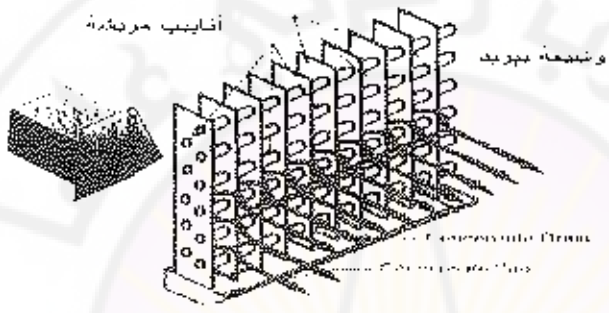
٣- وشيعة التسخين الأولية :

تستعمل هذه الوشيعة لتسخين الهواء في فصل الشتاء قبل ترطيبه وأكثر الأنواع المستعملة هي مجموعة الأنابيب المريشة .

٤ - وشيعة التبريد :

تستعمل هذه الوشيعة لتبريد الهواء في فصل الصيف، وتبريد هذه الوشيعة يتم بوسيط تبريد يمكن أن يكون ماء مبرداً من آلة تبريد أو سائل تبريد، وبذلك تقوم وشيعة التبريد هذه مقام مبخر آلة التبريد، وتسمى في هذه الحالة وشيعة تبريد مباشرة .

يبين الشكل التالي وشيعة تبريد ذات أنابيب مريشة.



٥ - المرطبة :

و مهمتها تذرير الماء بشكل جيد ليمتزج بالهواء لترطيبه و يمكن استعمال عملية الترطيب لتأمين رطوبة معينة للهواء المكيف أو لتبريد الهواء أو لغسله .

و لغاية اقتصادية يعاد استعمال الماء المتساقط الذي لم يتبخر مع الهواء، وذلك إلى حوض المرطبة و تستعمل مضخة تعمل على تدوير الماء من الحوض إلى بخاخات المرطبة، وهناك مصدر ماء يحافظ على منسوب ماء محدد في حوض المرطبة .

٦ - مانعة مرور قطرات الماء :

وهي جزء من المرطبة ومهمتها منع مرور قطرات الماء التي قد تبقى عالقة بالهواء، وتصنع على شكل صفائح مثنية أكثر من مرة بحيث أن الهواء أثناء مروره في طريق متعرج تتساقط قطرات الماء منه .

٧- وشيعة التسخين النهائية :

بعد مرور الهواء على المرطبة فإن درجة حرارته تنخفض بحسب كمية الرطوبة التي يكسبها، ووظيفة وشيعة التسخين النهائية رفع درجة حرارة الهواء إلى درجة الحرارة المطلوبة، وعلى هذه الوشيعة يتم التحكم بدرجة حرارة هواء التغذية .

٨- المروحة :

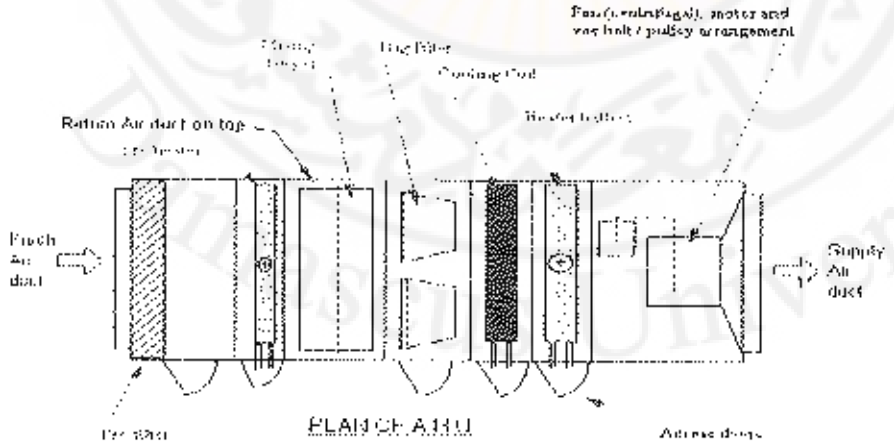
يقوم بتدويرها محرك كهربائي، ومهمتها تحريك الهواء ضمن مجموعة إرسال الهواء وإرساله في شبكة توزيع الهواء وإيصاله إلى فوهات التغذية والتغلب على جميع المقاومات الناتجة عن جريان الهواء ضمن مجاري الهواء و مجموعة إرسال الهواء.

يبين الشكل التالي مسقطا أفقيا لوحدة معالجة للهواء موضحا عليها أجزاءها

٢-١٢ طريقة عمل وحدات معالجة الهواء:

١-٢-١٢ نظام التكييف الصيفي :

يأتي الهواء الجديد بدرجة حرارة مرتفعة حتى ٤٠ صيفا من الجو المحيط ليدخل



وحدة المعالجة بواسطة المروحة حيث يتم مزجه بالهواء المعاد من المكان ثم يمر على مصفاة الهواء حيث تقوم بتنقيته من الغبار والأوساخ ومن ثم يمر على وشيعة تبريد تتغذى بالماء بدرجة حرارة منخفضة (٦°C - ١٥°C) من مبرد للماء (شيلر) يزمن الماء البارد عبر التبادل الحراري بين الماء ووسيط التبريد (أمونيا - فريون ... إلخ) . فتنخفض درجة حرارة الهواء بتلامسه مع سطح الوشيعة ثم يتابع طريقه لتدفعه المروحة عبر مجار خاصة تسمى (DUCTS) إلى الغرف والأماكن المراد تكييفها .

٢-٢-١٢ مكونات نظام التكييف الصيفي :

يشتمل عادة على:

أ - وشيعة تبريد (Cooling coil) تعمل على تبريد الهواء وخفض رطوبته والتحكم فيها.

ب - وشيعة تسخين (Heating coil) تعمل على التحكم في درجة حرارة الهواء.

ج - مروحة (Fan) تعمل على سحب الهواء ودفعه خلال المجاري الهوائية Air duets

يلاحظ أن درجة حرارة الهواء خلال المروحة تزداد نتيجة إضافة الطاقة الميكانيكية، ولكن زيادة درجة حرارة الهواء بسيطة أقل من ١°C ويمكن إهمالها.

د - فلتر (Filter) يعمل على تنقية الهواء من الشوائب الأتربة والروائح الكريهة. يلاحظ أن درجة حرارة الهواء خلال الفلتر تزداد نتيجة الاحتكاك ولكن الزيادة بسيطة أقل من ١°C ويمكن إهمالها.

هـ - خانق الهواء (Air damper) يعمل على التحكم في معدلات تدفق الهواء الراجع والهواء الخارجي لخلق وسط مسمح له نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون في الحدود المسموح بها.

١٢-٢-٣ التكييف في فصل الشتاء:

الأمر نفسه في كما في الصيف إلا أن الماء الوارد للوشيعة يكون ساخنا يؤمنه مرجل لانتاج الماء الساخن. نحتاج في عملية التكييف الشتوي إضافة للتسخين إلى عملية ترطيب لرفع الرطوبة النسبية للهواء وذلك باستخدام مرطبة .

١٢-٢-٤ مكونات نظام التكييف الشتوي

يشتمل عادة على وشيعة تسخين واحدة أو وشيعتي تسخين كما يلي:

أ ــ وشيعة تسخين أولي تعمل على تسخين الهواء.

ب ــ وحدة رش مياه تعمل على ترطيب الهواء والتحكم في رطوبته.

ج ــ وشيعة تسخين ثانوي تعمل على إعادة تسخين الهواء والتحكم في درجة حرارته.

د ــ مروح تعمل على سحب الهواء ودفعه خلال المجاري الهوائية .

هـ ــ فلتر يعمل على تنقية الهواء من الروائح والمواد العالقة.

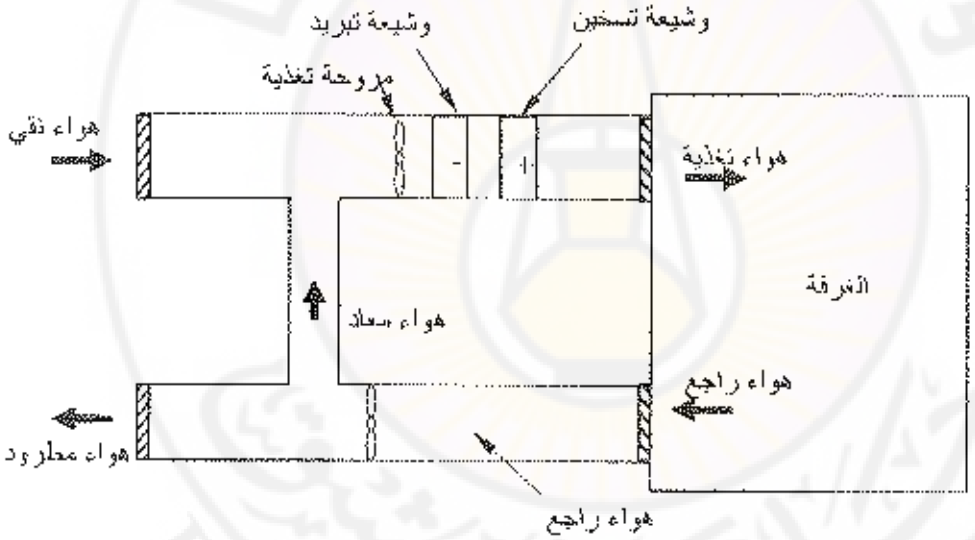
و ــ خانق هواء يعمل على التحكم في معدلات جريان الهواء الخارجي والمعاد (الراجع)

الفصل الثالث عشر
أنظمة تكييف الهواء
Air Conditioning

١٣ـ ١ الطرق و الأساليب المستعملة في تكييف الهواء:

إن اختيار الأسلوب الصحيح و المناسب لأجهزة التكييف يعتبر من الأمور الأساسية و الهامة جدا بالنسبة للمهندس المصمم و التي يمكن أن يدور حولها الجدل.

يبين الشكل التالي مخططا رمزيا لنظام تكييف هواء مركزي



١٣ـ ٢ تصنيف أنظمة التكييف المركزية:

إن تصنيف الطرق و الأساليب المستعملة في التكييف يمكن القيام بها بعدة طرق، وسنشرح بعضا من هذه الأنظمة المستعملة في تكييف الهواء:

تصنف أجهزة التكييف المركزية إلى عدة أنواع منها:

١ـ نظام هوائي كلي (All air system)

٢ـ نظام هوائي ـ مائي (Air – water system)

٣ـ نظام مائي كلي (All water system)

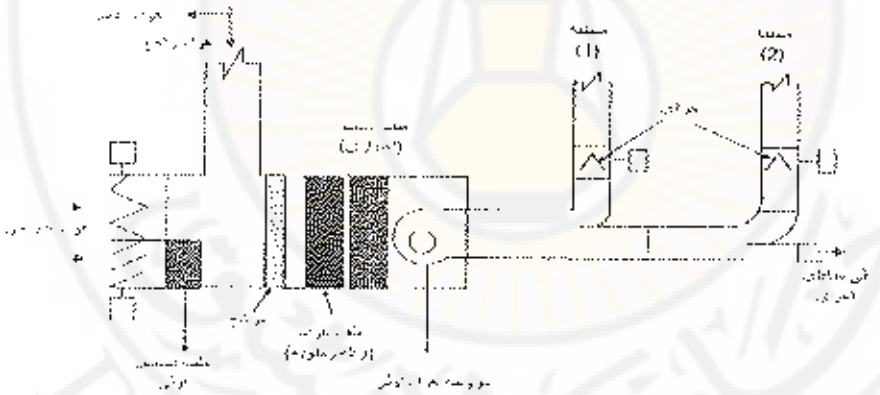
٤ـ أسلوب الوحدات المنفصلة (Split Units)

٥ـ نظام التمدد المباشر (DX) (Direct expansion system)

٦ـ نظام القطعتين (Split system)

١٣ـ٢ـ١ الأسلوب الهوائي الكلي:

ويتم هنا إزالة الحرارة المحسوسة والكامنة و تغطية الحمل الحراري أو الحمل التبريدي للمكان المكيف بواسطة الهواء فقط القادم من وحدات المعالجة بواسطة مجاري الهواء. يبين الشكل التالي وحدة معالجة هواء يغذي عدة مناطق و بتدفق متغير



وحدة معالجة بتدفق هواء متغير و متعدد المناطق

١٣ـ٢ـ٢ الأسلوب هواء – ماء :

ويتم هنا تبريد المكان المكيف أو تدفئته عن طريق وشائع تعمل بالماء البارد أو الساخن بالهواء حيث يتم تغطية الحمل الحراري أو الحمل التبريدي عن طريق

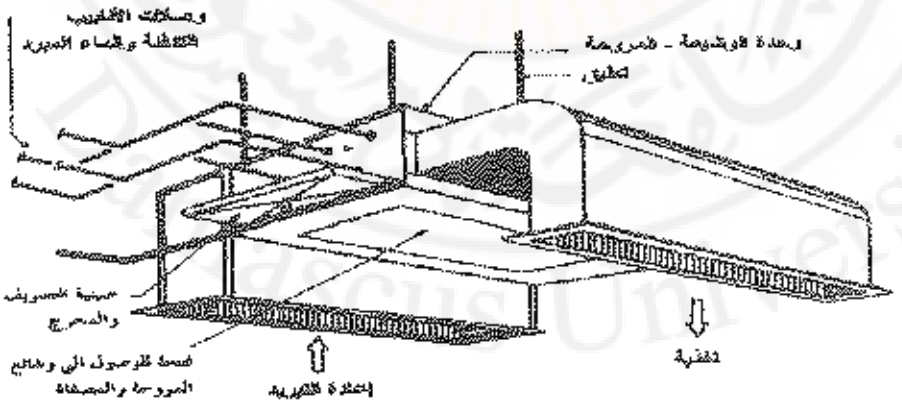
وشائع تعمل بالماء البارد أو الساخن، أما الهواء الجديد النقي فيتم معالجته حيث يبرد أو يسخن حسب الحاجة بواسطة وحدات معالجة الهواء ثم ينقل عبر مجاري الهواء.

١٣-٢-٣ الأسلوب المائي :

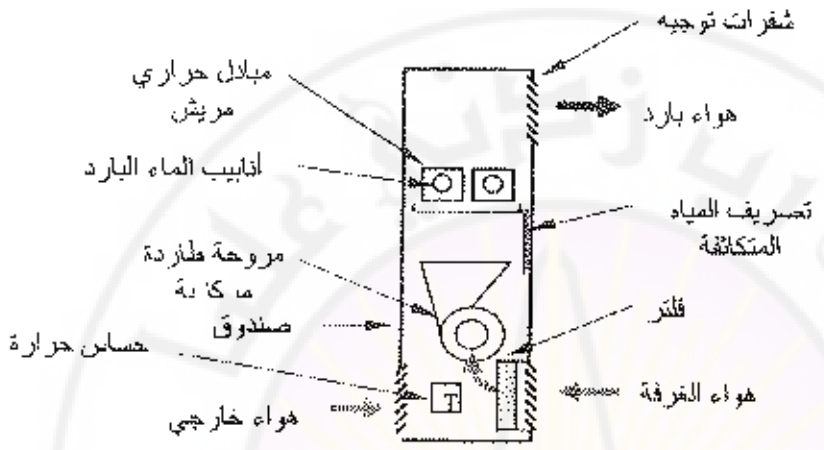
الجزء الأساسي هنا وحدة (Fan-Coil) الفانكويل (مروحة ووشيعة) حيث يتدفق الماء الساخن أو البارد ضمن الوشيعة التي تقوم بمعالجة الهواء ضمن المكان المكيف، وهي تتألف من غطاء خارجي يحتوي مصفاة الهواء ومبادل حراري ومروحة و فتحات لدخول الهواء و أخرى لخروجه، و يوجد منها عدة أنواع :

١- سقفية تركب في السقف توصل أحيانا مع مجرى موصل بفتحة لسحب الهواء من المكان و فتحة أخرى موصولة عبر مجرى لتسليم الهواء للمكان . يتم تزويد الهواء النقي عبر مجرى متصل بوحدة معالجة مستقل مهمتها معالجة الهواء النقي فقط.

يبين الشكل التالي وحدة فانكويل سقفية مع مجرى سحب وآخر تغذية مركبة فوق السقف المستعار



٢- جدارية تركب بجانب الجدار و لها فتحات دخول للهواء من الغرفة و من الوسط الخارجي مع خوانق (Dampers) لتغير نسب المزج بين الهواء الخارجي والهواء الداخلي تحوي أيضا فتحة لخروج الهواء المعالج



وحدة فانكويل جدارية

١٣-٢-٤ أسلوب الوحدات المنفصلة :

وتستخدم لتبريد هواء كل غرفة على حدة ولها أنواع وأشكال متعددة إلا أن استعمالها لكامل البناء مكلف ويمكن أن تعمل الوحدة كمضخة حرارية بعد عكس الدارة، والمضخة الحرارية أساسا هي مجموعة تبريد قادرة على استخلاص الحرارة من أي مصدر ذي مستوى حراري منخفض (مصدر ثانوي) مثل الجو، البحر، الأرض ورفع مستوى الحرارة إلى درجة حرارة مفيدة.

١٣-٢-٥ نظام التمدد المباشر :

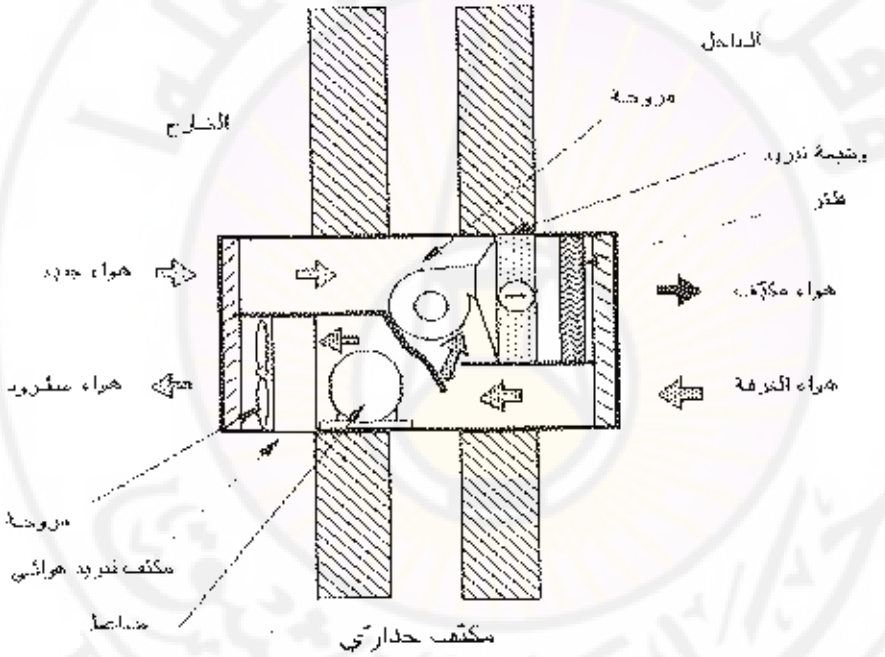
وتسمى بنظام التمدد المباشر وهي عبارة عن وحدة تبريد متكاملة تعرف بالرمز (DX) أي التمدد المباشر. يستخدم نظام التمدد المباشر لغرفة منفصلة

وذلك لخدمة شخص واحد أو مجموعة من الأشخاص مثل مكتب خصوصي، مسكن، منشأة تجارية أو مجموعة مكاتب في منطقة واحدة. وتقسم إلى نظامين:

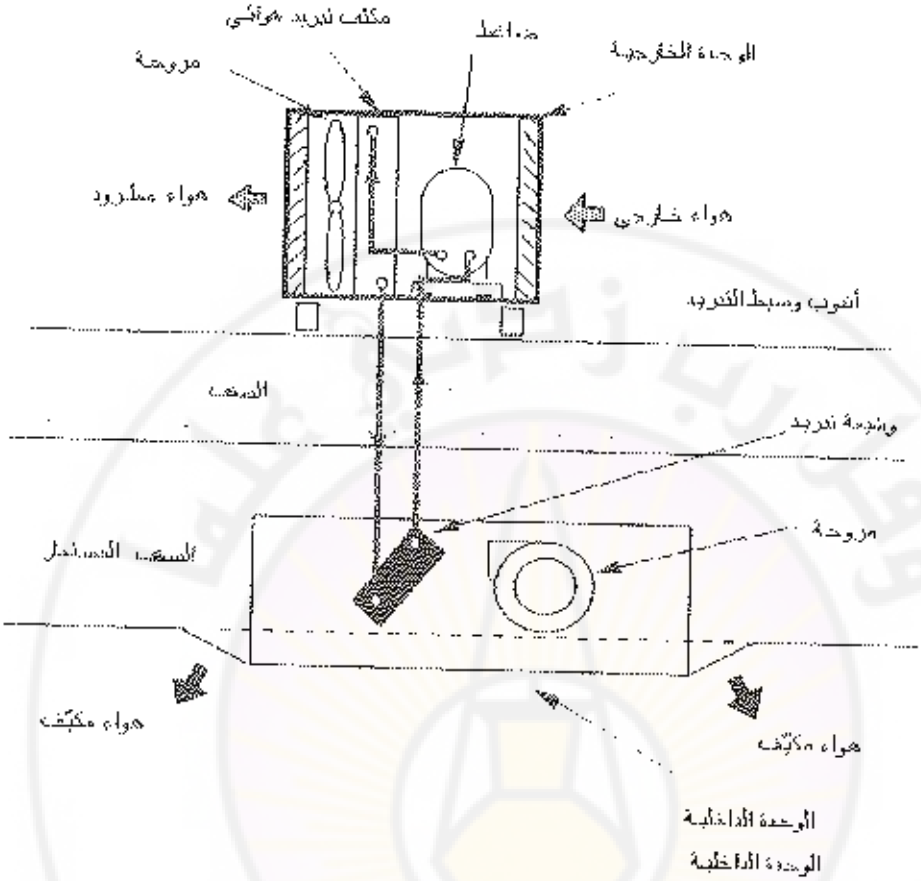
١. نظام القطعتين المنفصلتين

٢. نظام القطعة الواحدة:

كما يوضح الشكل التالي وحدة تكييف جدارية تعمل بنظام التمدد المباشر (DX).



يعتبر النظام (DX) أبسط جهاز تكييف صيفي. يمكن تجهيز الوحدة المتكاملة بوشيعة تسخين ومجاري للهواء لخدمة حيز كبير على مدار العام. يعمل نظام (DX) عادة بالفريون أو أي وسيط تبريد آخر.



الشكل: يوضح نظام التقطعتين المنفصلتين

الفصل الرابع عشر

كمية الهواء اللازمة للتهوية

Ventilating Air Quantity

إن التهوية أو التكييف الصناعي للمعامل تتطلب دخول كميات كبيرة من الهواء مع سحب كميات مساوية لها تقريباً . ويمكن أن يعالج الهواء الداخل من جهة درجة الحرارة والرطوبة والتصفية وغيرها ، وبحسب الحاجة تحسب كمية الهواء اللازمة للتهوية بأحدى الطرق التالية :

١- من معرفة عدد مرات تبديل الهواء في الساعة للمكان وتحسب بـ (m^3/s) .

٢- من معرفة كمية الهواء اللازمة للشخص الواحد . ($m^3/s.p.r$)

٣- من معرفة مقدار المواد الضارة المنبعثة في المكان المكيف أو المكان الذي يحتاج إلى التهوية .

١٤-١- حساب كمية الهواء اللازم للتهوية من معرفة عدد مرات تبديل الهواء:

عندما لا يمكن معرفة عدد الأشخاص الموجودين في المكان المكيف تستعمل طريقة عدد مرات تبديل الهواء بوحدة الزمن وتتعلق بحجم المكان المكيف وبارتفاعه وموقعه .

الجدول التالي يبين بعض هذه القيم التي حسبت بالتجربة، ويمكن الاعتماد عليها في بعض الأحيان:

المكان المكيف	عدد مرات تبديل الهواء بالساعة
١- مسرح – سينما – مكتبة	4 — 8
٢- مدارس	5 — 6
٣- قاعات محاضرات	6 — 8
٤- مطاعم مقاهي	5 — 8
٥- مكاتب	2 — 3
٦- كراجات	4 — 6
٧- حمامات	8 — 10

٢-١٤- حساب كمية الهواء اللازم بحسب عدد الأشخاص :

تحدد كمية الهواء الجديد الضرورية لكل شخص طبقاً إلى حاجته وتتراوح هذه الكمية من حوالي ($20\ m^3/h$) للشخص إذا كان ممنوع التدخين إلى ($85\ m^3/h$) للشخص عند السماح بالتدخين مع القيام بأعمال شاقة . ويمكن تخفيض هذه الكمية عند ارتفاع درجة الحرارة الخارجية أو عند انخفاض درجة الحرارة الخارجية، وذلك لأسباب اقتصادية ، والجدول التالي يمكن الاعتماد عليه في اختيار كمية الهواء اللازمة للأشخاص (بحسب شروط العمل والمكان المستعمل) .

المكان	كمية الهواء اللازمة لكل شخص m^3/h
مسرح ، سينما	20 — 40
مدارس ، قاعات محاضرات	20 — 50
أماكن مسموح فيها التدخين	50 — 85
أماكن غير مسموح فيها التدخين	25 — 40

١٤-٣- حساب كمية الهواء اللازم نتيجة للمواد الضارة المنبعثة ضمن المكان:

لدينا غرفة بحجم [V (m^3)] ويراد تهويتها بهواء خارجي بمعدل (n) مرة تبديل هواء بالثانية فيكون ($M= V \times n$ (m^3/s)

كمية الهواء اللازم للتهوية [M (m^3/s)].

وإذا اعتبرنا فترة زمنية صغيرة قدرها ($d\tau$) فيكون الهواء الداخل خلال هذه الفترة هو :

$$n \times V \times d\tau = m \times d\tau$$

لنرمز الآن إلى تركيز المادة الضارة في هواء الغرفة بالرمز (C) مقدراً بـ (m^3/m^3) أو (mg/m^3) .

ولنسمي التركيز في الهواء الخارجي الداخل إلى الغرفة (C_1) فتكون كمية المواد الضارة الداخلة إلى الغرفة هي :

$$M \times d\tau \times C_1 \quad (m^3)$$

ولو سمينا معدل توليد المواد الضارة في الغرفة [k (m^3/s)] وذلك مثل غاز الفحم المتولد عن الأشخاص مثلاً .

وتكون المادة الضارة المتولدة داخل الغرفة في فترة زمنية صغيرة $d\tau$ هي :

$$k \times d\tau \quad (m^3)$$

ونتيجة لجمع الغازات القادمة إلى الغرفة من الخارج مع الغازات المتولدة داخل الغرفة يمكن أن نكتب أن كمية المادة الضارة الخارجة من الغرفة .

هي :

$$M \times d\tau \times C \quad (m^3)$$

حيث (C) تركيز المادة الضارة في الغرفة مقدرة بـ (m^3/m^3) .

وإن الزيادة في كمية المواد الضارة ضمن الغرفة نتيجة عدم طردها هي

$V \times dC\ (m^3 \cdot m^3 / m^3)$

يمكن أن نكتب معادلة التوازن على الشكل التالي :

$$k \cdot d\tau \times M \cdot C_1 \cdot d\tau = M \cdot C \cdot d\tau + V \cdot dC$$

$$(\frac{k}{V} + \frac{M}{V} C_1 - \frac{M}{V} C)\, d\tau = dC$$

أي التركيز في فترة زمن $(d\tau)$ يكون (dC) .

وبذلك يمكن أن نكتب العلاقة بالشكل :

$$\frac{dC}{d\tau} + \frac{M}{V} C = \frac{MC_1 + k}{V} = \quad .....(1)$$

أو بالشكل :

$$\frac{dC}{d\tau} + nC = nC_1 \quad \frac{k}{V} \quad ..... (2)$$

وهذه معادلة تفاضلية من الدرجة الأولى يمكن حلها بحسب الشروط المطبقة . فإذا

فرضنا عندما $\tau = 0$ أن $C = C_i$

حيث (C_i) هو التركيز الأولي للغرفة ، فإن حل المعادلة التفاضلية يكون من الشكل :

$$C = (\frac{k}{nV} + C_1)(1 - e^{-n\tau}) + C_i e^{-n\tau}$$

آ ـ إذا كانت التهوية داخل المكان مستمرة وحالة الهواء مستقرة وثابتة وكان في داخل المكان مصدر للمواد الضارة فإن المعادلة (1) تصبح:

أي عندما $(\frac{dC}{d\tau} = 0)$ يكون :

$$K + M \cdot C_1 = M \cdot C$$

$$C = \frac{K}{M} + C_1 \quad (\ m^3/m^3\ )$$

أي كمية الهواء اللازم للتهوية :

$$M = \frac{k}{C - C_1} \qquad (\ m^3/s\ )$$

إذا فرضنا أن الهواء الجديد لا يحوي على مواد ضارة أي ($C_1 = 0$)

تصبح العلاقة :

$$M = K/C \quad (\ m^3/s\ )$$

ب- إذا كانت التهوية متقطعة داخل المكان و غير مستقرة فإن العلاقة (1)

تصبح :

$$\frac{dC}{d\tau} + \frac{M}{V} C = 0$$

أي عندما ($c_1 = 0$) و ($K = 0$) ، فإن المعادلة السابقة تصبح :

$$\frac{dC}{d\tau} = - \frac{MC}{V}$$

وبحل هذه المعادلة نحصل على :

$$\frac{dC}{C} = - \frac{M}{V} d\tau$$

$$\ln C = - \frac{M}{V} \tau + \ln A$$

حيث A ثابت التكامل ومنه :

$$\ln C - \ln A = - \frac{M}{V} \tau$$

$$\ln \frac{C}{A} = - \frac{M}{V} \tau$$

$$C = A \cdot e^{-\frac{M}{V}\tau}$$

وإذا فرضنا أن ($C = C_i$) هو تركيز المواد الضارة الداخلية في المكان المهوى عندما يكون الزمن $(\tau = 0)$ أي عند ابتداء التهوية فإن المعادلة السابقة تصبح:

$$C = C_i \cdot e^{-\frac{M}{V}\tau} = C_i e^{-n\tau}$$

حيث (n) عدد مرات تبديل الهواء بواحدة الزمن .

Damascus University

الفصل الخامس عشر

التجهيزات الأساسية لأنظمة التكييف والتهوية

Mean Equipments For Ventilating and Air Conditioning Systems

١٥-١ توزيع الهواء: Air Distribution

يتم توزيع الهواء في الأماكن المكيفة بواسطة مجاري الهواء، ومن ثم إلى الغرف المكيفة بواسطة فتحات خاصة. وتكون هذه الفتحات مناسبة لإعطاء سرعة هواء محددة في المكان المكيف إذ إن الشعور بالراحة يتوقف على سرعة الهواء بالجو المكيف بالإضافة إلى عوامل درجة الحرارة والرطوبة النسبية واتجاه الهواء.

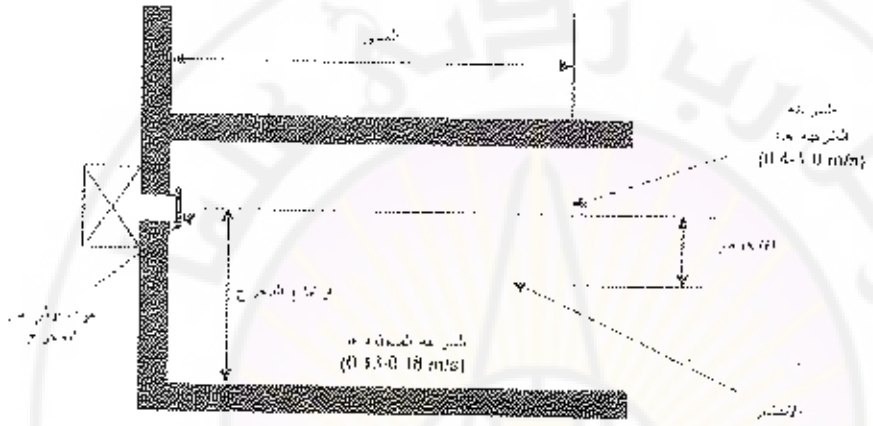
فالتوزيع الجيد للهواء داخل الغرفة عاملٌ أساسيٌ في تحديد درجة الراحة للإنسان ويتطلب :

١- أن لا يكون التغير في درجة الحرارة داخل الغرفة كبيراً (أي في حدود ±1°C) من درجة التصميم.

٢- أن تكون سرعة الهواء داخل المنطقة المراد تكييفها (والتي يطلق عليها السرعة المتبقية) بين (0.13- 0.18 m/s) للتطبيقات التي يوجد فيها الأشخاص في حالة جلوس، وللتطبيقات التي يتحرك فيها الأشخاص لفترات قصيرة بين (0.25- 0.4 m/s).

٢-١٥ أنماط توزيع الهواء (Air distribution patterns)

دراسة توزيع الهواء تتطلب الفهم الصحيح لحركة الهواء الذي تتم تغذيته للغرفة وكذلك معرفة المصطلحات المستخدمة كما هو موضح في الشكل التالي



١- المدى:

عبارة عن المسافة الأفقية التي يقطعها الهواء قبل أن يصل إلى سرعة صغيرة نسبياً (يطلق عليها السرعة الطرفية) .

٢- السرعة الطرفية :

هي السرعة عند نهاية المدى .

٣- السرعة المتبقية :

هي السرعة النهائية التي يصل بها الهواء للأشخاص.

٤- **الانخفاض:**

هو عبارة عن المسافة الرأسية التي ينخفض بها الهواء البارد عند نهاية المدى

٥- **فرق درجة الحرارة:**

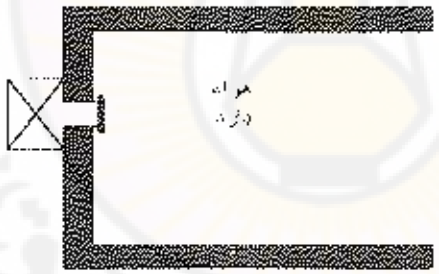
هو الفرق بين درجتي حرارة هواء الغرفة والتغذية .

٦- **الانتشار:**

هو عبارة عن التباعد الأفقي لتيار الهواء.

٧- **الموقع:**

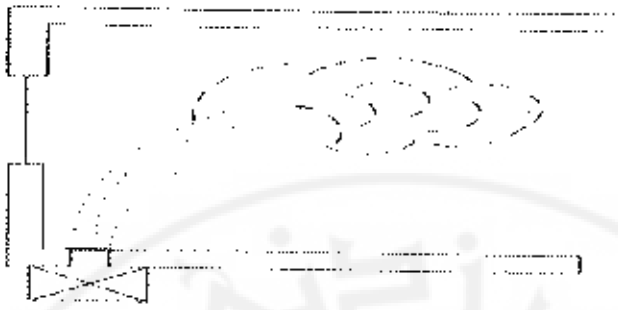
يعتبر موقع جهاز توزيع الهواء في الغرفة ذا أهمية قصوى من أجل الحصول على توزيع جيد للهواء.



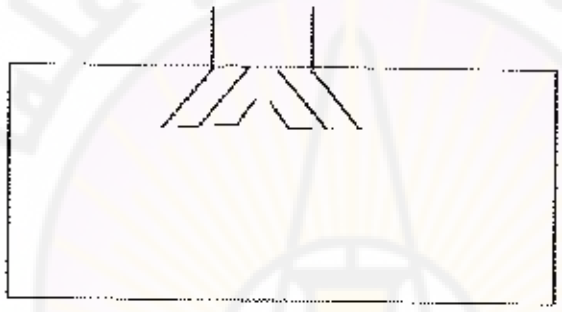
توزيع جيد للهواء في حالة التبريد



توزيع ضعيف للهواء الساخن

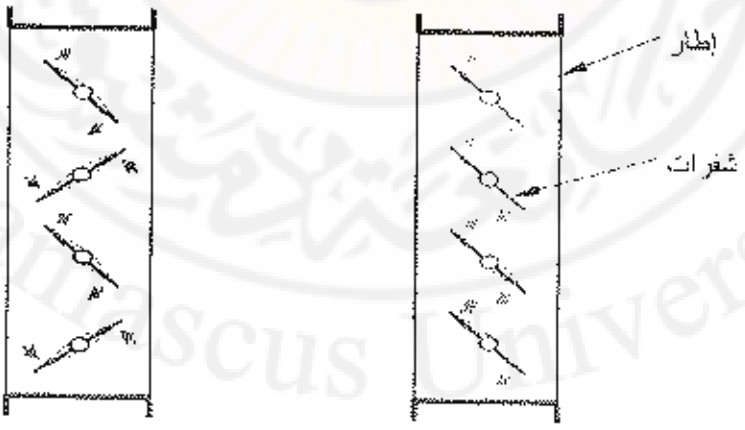


دفع الهواء من أسفل النافذة يعطي توزيعا جيدا للهواء الساخن



الناشر السقفي يعطي توزيعا جيدا للهواء في التكييف الصيفي

٣-١٥ معبر الهواء (الخانق) :



شفرات متعاكسة

شفرات متوازية

يسمى أحيانا صمام الهواء، ويستعمل لتغيير كمية الهواء التي تمر عبر الفتحة، وذلك بتغيير فتحة الصمام الهوائي، كما يعمل أيضا على توجيه الهواء وإدخال المقاومة في الشبكة للموازنة.

٤-١٥ فتحات تغذية الهواء Supply air grilles

يوجد أنواع عديدة من فتحات تغذية الهواء نذكر منها الأنواع

١. فتحة مجهزة بشبك Grille Outlets

٢. فتحة ضيقة ومستطيلة Slot Diffuser Outlet

٣. انيموستات سقفي Ceiling Diffuser (Anemostat)

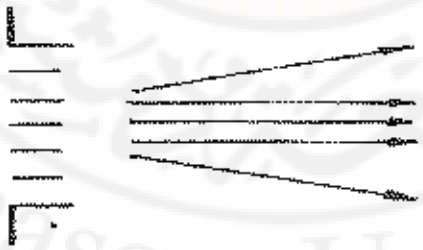
٤. سقوف مثقبة Perforated Ceiling Outlets

ويجب مراعاة الراحة الحرارية عند اختيار الفتحات بحيث لا تزيد السرعة في الغرفة فوق الرأس عن (0.35 m/s) ولا تقل عن (0.1 m/s)

٥-١٥ شفرات التوجيه Vanes

ويمكن ان تكون باشكال مختلفة:

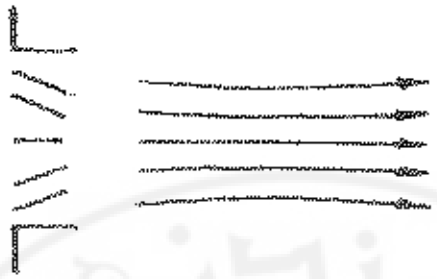
أ- شفرات مستقيمة: Straight Vanes



(الشكل يبين فتحة جدارية)

وتسبب الشفرات المستقيمة انفراجا لتيار الهواء قدره من (24° ÷ 14°)

ب ـ شفرات متقاربة : Converging Vanes



الشكل يبين فتحة جدارية

ويظهر تناقص الانتشار لتيار الهواء في بادئ الأمر، وبعد ذلك يتزايد انتشار تيار الهواء بشكل مشابه للوضع (أ). تعطي هذه الشفرات مسافة قذف أطول بقليل من الوضع (أ).

تتجه هذه الشفرات إلى إعطاء انتشار لتيار الهواء في المستوى الرأسي كذلك بالإضافة إلى الانتشار في المستوى الأفقي.

ج ـ شفرات متباعدة

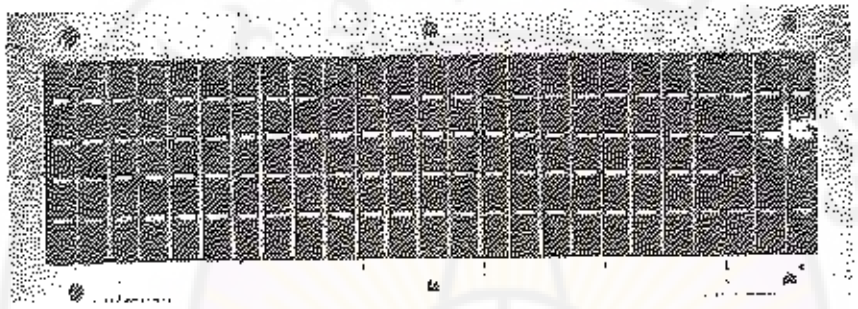
عندما تكون الزاوية للريشة الأخيرة (45°) ينتج انفراد في تيار الهواء قدره حوالي (60°)، وفي هذه الحالة تتناقص مسافة القذف إلى حوالي النصف.



٦-١٥ أنواع الفتحات

أ- الفتحات المجهزة بشبك:

وتكون الشفرات في وضع ثابت و على صفين صف أمامي و هو الشفرات الرأسية و خلف هذا الصف يوجد صف اخر من شفرات أفقية، تستعمل هذه الفتحات عندما يكون اتجاه تيار الهواء محدداً ولا يراد تغييره.



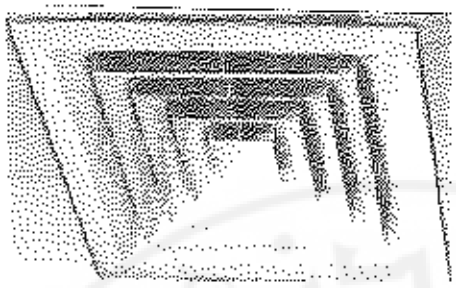
ب - الفتحات الضيقة المستطيلة:

وتكون هذه الفتحات ذات شفرات مستقيمة أو شفرات متقاربة أو متباعدة ولكل منها استعمالاتها. ويمكن أن تزود الفتحة بمنظم لتحديد كمية الهواء في الفتحة.

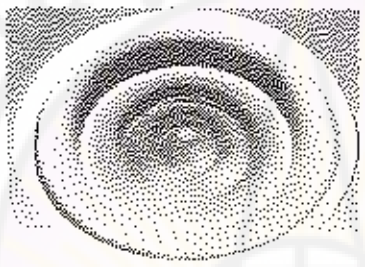
ج- الفتحات السقفية:

وتكون الفتحات السقفية ذات شكل دائري أو مربع أو مستطيل، وتتألف هذه الفتحات من عدة حلقات تحمل كشفرات توجيه، كما يمكن أن تزود بمنظم لتحديد كمية الهواء المتدفق من الفتحة.

الشكل المبين يوضح نماذج للفتحات السقفية.



شكل لفتحة سقفية مربعة



شكل لفتحة سقفية دائرية



شكل لفتحة رجوع جدارية

٧-١٥ فتحات الرجوع:

عند اختيار فتحات رجوع الهواء يجب أخذ العوامل التالية بعين الاعتبار:

١- السرعة:

تزداد سرعة جريان الهواء باتجاه فتحة الرجوع، وينصح باستعمال سرعات محددة ضمن فتحات الرجوع تتبع لنوع المكان المكيف ولوضعية الفتحة في الغرفة، وتتراوح هذه السرعات بين (1m/s) إلى (4m/s).

٢ـ الضجيج:

يحدد مستوى الضجيج في فتحات الرجوع بحسب مكان الفتحة وقربها من مستوى الأذن، كما يتبع لنوع المكان المكيف. وإن مستوى الضجيج في الفتحة يتبع لسرعة الهواء ضمن الفتحة ويزداد مع زيادة هذه السرعة.

٣ـ انخفاض الضغط:

للحصول على انخفاض الضغط الكلي أو الضغط السكوني للمروحة يضاف انخفاض الضغط في الفتحات إلى انخفاض الضغط في مجاري الهواء، وتعطي الشركات الصانعة للفتحات نشرات خاصة يمكن منها تحديد انخفاض الضغط بالفتحة.

١٥ـ٨ المراوح:

تقوم المراوح بدفع الهواء ضمن مجاري الهواء في أجهزة التكييف والتهوية. و تعتبر من الأقسام الرئيسية في هذه الأجهزة، وتعمل المروحة كمضخة هوائية تتغلب على فرق الضغط الناتج عن مقاومة جريان الهواء ضمن مختلف التجهيزات.

و تعطي هذه المراوح فرق ضغط صغير، ويعرف فرق الضغط على طرفي المروحة بالفرق بين الضغط الكلي عند مخرج المروحة والضغط الكلي عند مدخل المروحة.

١٥ـ٨ـ١ الأجهزة الرئيسية التي تتألف منها المروحة:

تتألف المراوح عادة من الأجهزة التالية :

١. الغلاف casing أو الهيكل و هو القسم الثابت المغلف للجزء الدوار و الذي يوجه الهواء و يكون بشكل (diffuser) متباعد . بالنسبة للمراوح الطاردة المركزية.

٢. الجزء الدوار (الدافع impeller) و هو القسم الذي يؤدي دورانه إلى دفع الهواء، و يمكن إن يكون بالمروحة دافع أو أكثر ويتصل مع المحور الدوار وسع المحرك إما بشكل مباشر أو عن طريق وصلات وسيور.

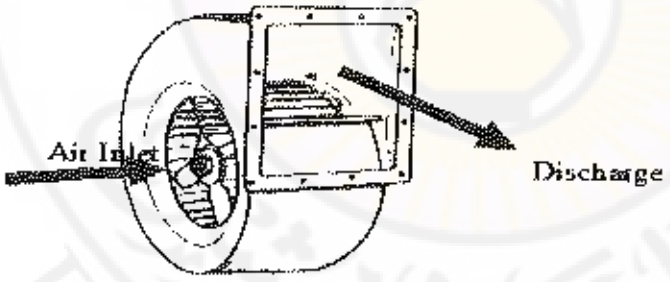
٣. الجزء الموجه (شفرات التوجيه guide vanes) و هي عبارة عن شفرات لتوجيه الهواء عند دخوله أو خروجه إلى الجزء الدوار، ومهمتها توجيه الهواء بشكل صحيح للحصول على أعلى مردود للمروحة.

٢-٨-١٥ تصنيف المراوح:

تصنف المراوح بحسب طريقة تصميمها:

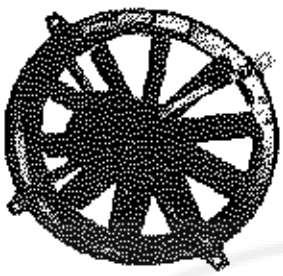
١-المراوح الطاردة المركزية centrifugal fans :

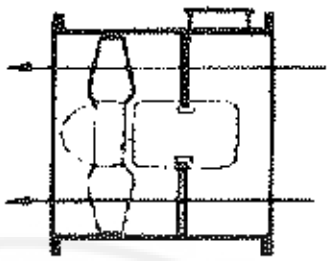
في هذه المراوح يدخل الهواء بشكل محوري و يخرج منها بشكل عمودي على هذا المحور كما يبين الشكل :



٢- المراوح المحورية Axial flow fans :

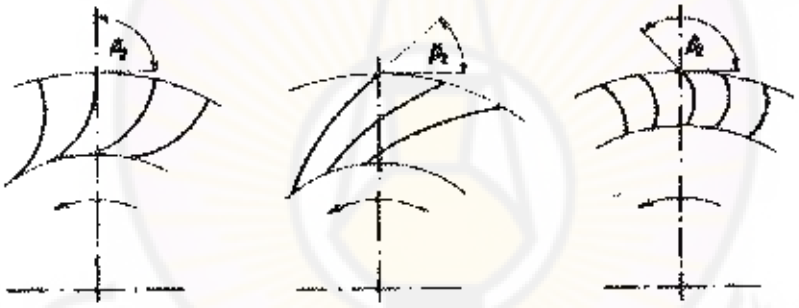
- و في هذه المراوح يدخل الهواء بشكل محوري و يخرج منها بشكل محوري كما مبين بالشكل





١٥-٨-٣ تصنيف المراوح طبقا لشكل شفرات المروحة:

- شفرات منحنية إلى الأمام $\beta 2>90$
- شفرات منحنية إلى الخلف $\beta 2<90$
- شفرات قطرية $\beta 2=90$



شفرات منحنية الى الامام

شفرات منحنية الى الخلف

شفرات قطريـــة

١٥-٨-٤ تصنيف المراوح طبقا لفرق الضغط على طرفيها:

١- مراوح ذات فرق ضغط منخفض $\Delta P_t = 0 - 1000$ Pa

٢- مراوح ذات فرق ضغط متوسط $\Delta P_t = 1000 - 3000$ Pa

٣- مراوح ذات فرق ضغط عال $\Delta P_t = 3000 - 10000$ Pa

١٥-٨- ٥ تصنيف المراوح طبقا لعدد المراحل التي تشملها:

١- مراوح بمرحلة واحدة

٢- مراوح بعدة مراحل

١٥- ٩ المواصفات التي تميز عمل المراوح:

سنعتمد الرموز و التعاريف التالية عند حساب المراوح:

أ - الضغط

- الضغط السكوني عند المدخل أو المخرج للمرواحة (PS) أو (S.P) Static Pressure
- الضغط الحركي عند المدخل أو المخرج للمروحة (P_v) أو (V.P) Velocity Pressure
- الضغط الكلي عند المدخل او المخرج للمروحة (P_t) أو (T.P.) Total Pressure
- ضغط المروحة السكوني (ΔP_s) أو (F.S.P) Fan Static Pressure
- ضغط المروحة الحركي (ΔP_v) أو (F.V.P) Fan Velocity Pressure
- ضغط المروحة الكلي (ΔP_t) أو (F.T.P) Fan Total Pressure

و يمكن كتابة العلاقات التالية بين الضغوط بالنسبة للمراوح

عند المدخل أو المخرج يكون $T.P = P_t = P_s + P_V$

$$F.T.P = \Delta P_t = P_{t2ex} - P_{t1in}$$

$$F.S.P = \Delta P_S = P_{S2ex} - P_{t1in}$$

$$F.S.P = P_{t2ex} - P_{V2ex} - P_{t1in} = \Delta P_t - P_{V2ex}$$

ب - التدفق : volume flow rate (M)

و هو حجم الهواء الذي تدفعه المروحة في واحدة الزمن (m^3/s) محسوبة طبقا لمواصفات هواء الدخول .

ج - استطاعة المروحة (N) Fan Power Output

تتعلق استطاعة المروحة عادة بتدفق الهواء و فرق الضغط الكلي للمروحة حسب العلاقة التالية :

$$N = \Delta P_t \times M \quad [w]$$

د - المردود الميكانيكي للمروحة **Fan Mechanical Efficiency**

و يساوي النسبة بين الاستطاعة المأخوذة N و الاستطاعة المقدمة للمروحة ($\tilde{N}$) او الاستطاعة التي تستهلكها المروحة :

$$\eta = \frac{N}{\tilde{N}}$$

ويتراوح مردود المروحة من (% 30)في المراوح الصغيرة إلى (% 90) في المراوح الكبيرة .

١٠-١٥ قوانين التشابه في المراوح :

إذا كان لدينا مروحة مركبة في مجموعة إرسال هواء و تعطي كمية من الهواء [M1 (m^3/s)] و ضغط كلي ΔP_{t1} (N/m^2) و استطاعتها N1 (W) عند عدد دورات تساوي n1 (1/s) يمكن حساب مواصفات المروحة الجديدة عندما تتغير عدد الدورات و ذلك باستخدام العلاقات التالية :

التدفق : $$M_2 = M_1 \frac{n_2}{n_1}$$

الضغط : $$P_{t2} = \Delta P_{t1} (\frac{n_2}{n_1})^2$$

الاستطاعة : $$N_2 = N_1 (\frac{n_2}{n_1})^3$$

و يمكن أن يتغير بالإضافة إلى عدد الدورات قطر الدافع (d) و كثافة المائع (ρ) و بذلك تصبح العلاقات بشكلها العام:

التدفق : $$M_2 = M_1 \frac{n_2}{n_1} \cdot (\frac{d_2}{d_1})^3$$

الضغط : $$P_{t2} = \Delta P_{t1} (\frac{n_2}{n_1})^2 \cdot (\frac{d_2}{d_1})^2 \cdot (\frac{\rho_2}{\rho_1})$$

الاستطاعة : $$N_2 = N_1 (\frac{n_2}{n_1})^3 \cdot (\frac{d_2}{d_1})^5 \cdot (\frac{\rho_2}{\rho_1})$$

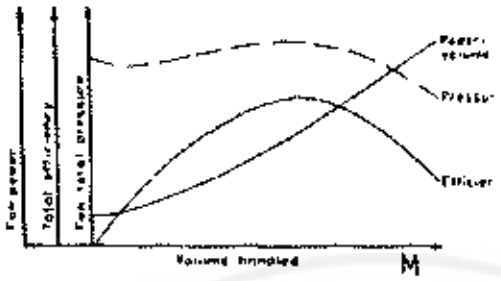
مستوى ضغط الصوت :

$$L_{w2} = L_{w2} + 70 \log(\frac{d_2}{d_2}) + 50 \log(\frac{n_2}{n_1}) + 20 \log(\frac{\rho_2}{\rho_1})$$

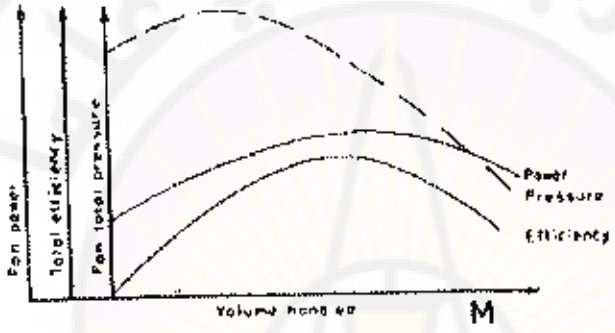
١٥ـ ١١ المنحنيات المميزة للمراوح :

تعطي الشركات الصانعة مواصفات المراوح بواسطة منحنيات تربط بين فرق الضغط على طرفي المروحة و التدفق و الاستطاعة المعطاة للمروحة والمردود الكلي

و تبين الأشكال التالية نماذج لهذه المنحنيات بالنسبة لبعض أنواع المراوح المستعملة



مراوح ذات شفرات منحنية الى الامام



مراوح ذات شفرات منحنية الى الخلف



مراوح ذات شفرات قطرية

١٢-١٥ المنحني المميز للمجاري:

هناك علاقة تربط بين تدفق الهواء في المجموعة و انخفاض الضغط او مقاومة المجموعة، ويمكن تمثيل هذه العلاقة بمنحن يسمى المنحني المميز للمجاري أو المجموعة .

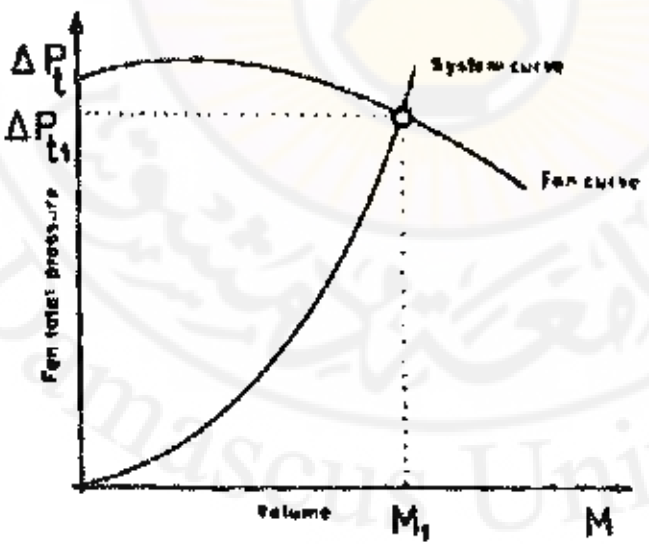
و يلاحظ من التجارب أن هذه العلاقة هي من الشكل التالي بالنسبة للجريان المضطرب :

$$\Delta P = C \cdot M^2$$

و هذه المعادلة تمثل قطعاً مكافئاً في الإحداثيات ($M \rightarrow \Delta P$)

(التدفق ← انخفاض الضغط) للمجموعة .

ويمكن رسم المنحني المميز للمجاري مع المنحني المميز لعمل المروحة و يلاحظ أنّ نقطة التشغيل تمثل بالتقاطع الناتج، والشكل يبين هذين المنحنيين :

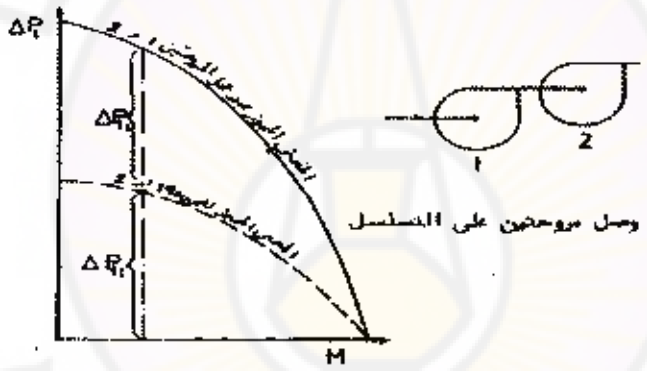


١٣-١٥ وصل المراوح على التسلسل وعلى التفرع (التوازي) :

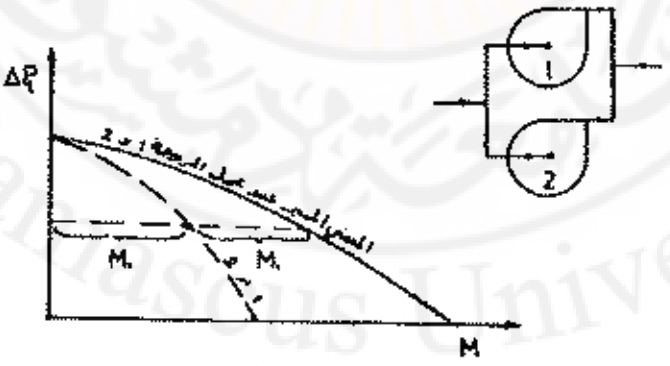
يمكن وصل المروحة على التسلسل و على التوازي بحسب الغرض المطلوب في الدارة

فإذا كان المطلوب تدفقاً كبيراً فإنه يمكن جمع المراوح على التفرع و بذلك نحصل على مجموع التدفق للمراوح بدون زيادة فرق الضغط .

وإذا كان المطلوب فرق ضغط كبير فإنه يمكن جمع المراوح على التسلسل، وبذلك نحصل على مجموع لفرق الضغط للمراوح بدون زيادة في التدفق بفرض أنّ المراوح المستعملة متماثلة بالمواصفات .



وصل مروحتين على التسلسل



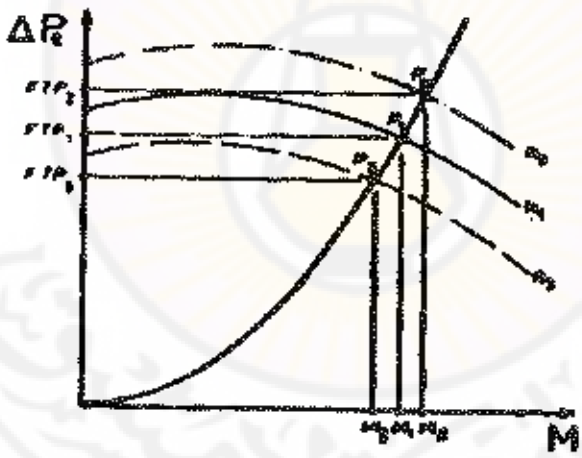
وصل مروحتين على التفرع

١٥-١٤ التحكم بخواص المراوح:

يتم التحكم بتغير خواص المراوح بهدف الحصول على التدفق وانخفاض الضغط المطلوبين للدارة، ومن المعروف أن أي تغيير على انخفاض الضغط يرافقه تغيير بالتدفق أو بالعكس، ومن المعروف أيضا أن تغيير عدد دورات المروحة يغير من مواصفاتها كما مر معنا بعلاقات التشابه للمراوح، وبذلك يمكن التحكم بالمراوح عن طريق :

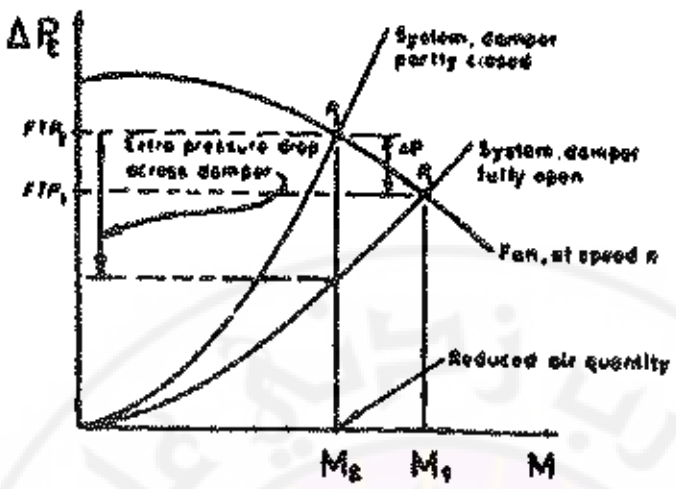
١٥-١٤-١ تغيير عدد دورات المروحة :

و ذلك عن طريق تغيير سرعة المحرك الكهربائي الموصول معها أو عن طريق علبة سرعة أو بكرات و سيور تعمل على تعديل سرعة المروحة .



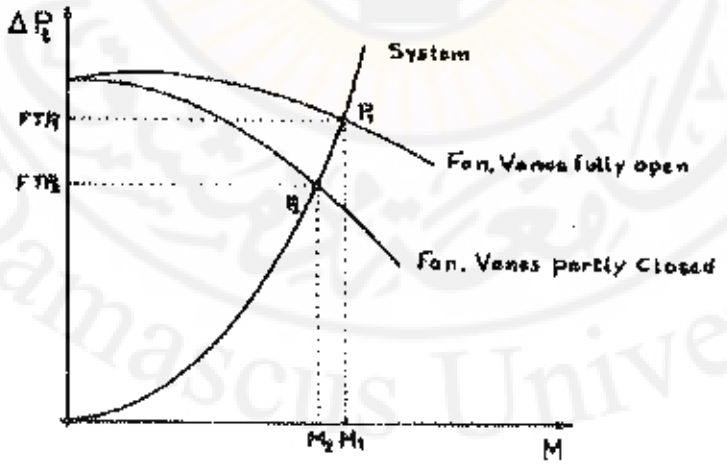
١٥-١٤-٢ إضافة مقاومة في الدارة :

ويتم ذلك بإغلاق جزئي لمعبرات الهواء (خوانق الهواء) في الدارة، وبذلك يتغير التدفق و نحصل على المطلوب .



٣-١٤-١٥ بواسطة تدوير الشفرات الموجهة :

و بذلك تتغير مواصفات جريان الهواء ضمن المروحة و نحصل على خواص جديدة للمروحة و هذه الطريقة غالبا ما تستخدم في المراوح المحورية .



١٥ـ ١٥ غسالات ومرطبات الهواء :

تعتمد هذه التجهيزات على تبادل الحرارة المحسوسة والحرارة الكامنة بين الماء والهواء ، وأن أبراج التبريد وغسالات الهواء والمرطبات تعتمد هذا المبدأ من التبادل الحراري .

وتكون هذه التجهيزات على نوعين :

١ـ أجهزة لتبريد الهواء (غسالات ومرطبات الهواء)

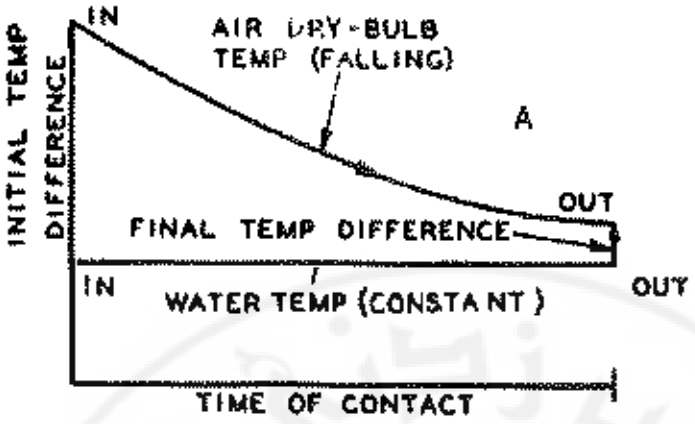
٢ـ أجهزة لتبريد الماء (أبراج التبريد)

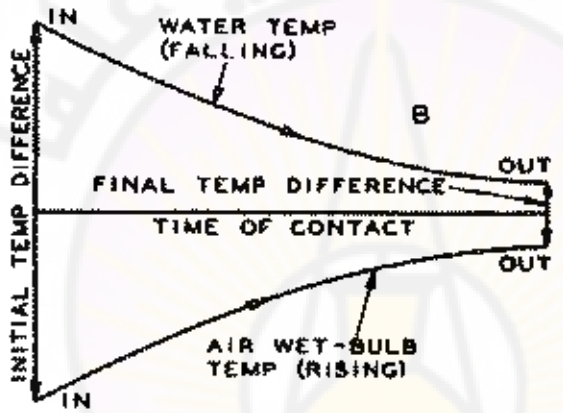
وسنتكلم في هذه الفقرة فقط عن النوع الأول وعن استعمال غسالات الهواء للترطيب أو إزالة الرطوبة . ويمكن أن تسمى غسالة هواء أو مرطبة حسب استعمالها ومقاييسها .

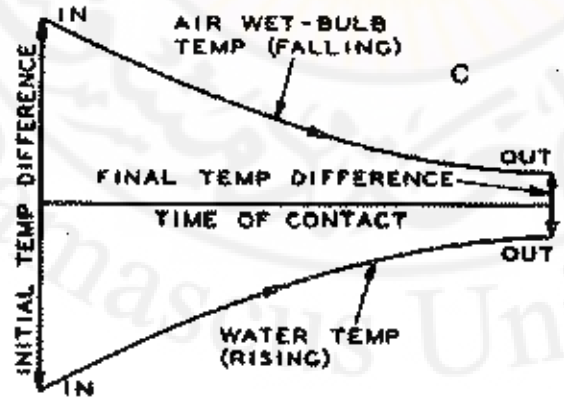
تعتمد المرطبات على تبخير الماء المرذذ في تيار من الهواء، والشكلان A و B يوضحان التغيرات الترموديناميكية التي تحدث بين الهواء والماء

١ـ الماء يدور بشكل مستمر ضمن دارة مغلقة من الحوض إلى البخاخات وهكذا. وبذلك يأخذ الماء درجة الحرارة الرطبة للهواء . وتكون درجة الحرارة الثابتة للماء اقل من درجة الحرارة الجافة لدخول الهواء، ولذلك تقترب درجة حرارة الهواء من درجة حرارة الماء . وتسمى هذه الحالة المرطبة الادبياتيكية (الحالة A) حيث إن درجة الحرارة الرطبة للهواء تبقى ثابتة، أما درجة الحرارة الجافة للهواء فتنخفض مع زيادة الرطوبة فيه .

٢ـ إذا كان يراد تسخين الهواء فإن الماء الحار الداخل إلى الجهاز يتبرد ودرجة الحرارة الرطبة للهواء تزداد (الحالة B) . في مثل عمليات التسخين هذه تقترب درجة الحرارة الرطبة النهائية للهواء من درجة الحرارة النهائية للماء .


INITIAL TEMP DIFFERENCE
IN
AIR DRY-BULB TEMP (FALLING)
A
OUT
FINAL TEMP DIFFERENCE
IN
WATER TEMP (CONSTANT)
OUT
TIME OF CONTACT


IN
WATER TEMP (FALLING)
B
OUT
FINAL TEMP DIFFERENCE
TIME OF CONTACT
OUT
INITIAL TEMP DIFFERENCE
AIR WET-BULB TEMP (RISING)
IN


IN
AIR WET-BULB TEMP (FALLING)
C
OUT
FINAL TEMP DIFFERENCE
TIME OF CONTACT
OUT
INITIAL TEMP DIFFERENCE
WATER TEMP (RISING)
IN

٣- إذا كان يراد تبريد الهواء فإن الماء البارد الداخل إلى الجهاز سيسخن وقد تقل الحرارة الرطبة للهواء تنخفض (الحالة C) . في مثل عمليات التبريد هذه فإن درجة الحرارة الرطبة النهائية للهواء ستكون دائما أعلى من درجة حرارة الماء النهائية .

ويتم التبريد ضمن المرطبات التبخرية على شكلين : مباشر ، وغير مباشر.

- الأول يستعمل وسطا رطبا حيث يتبخر الماء بشكل مباشر في الهواء الذي يمر عليه ويتبرد ، ويمكن الحصول على الوسط الرطب بتذرير الماء كما هو الحال في غسالات الهواء أو بواسطة استعمال سطوح مبللة بالماء مثل أجهزة تبريد الهواء المباشر .
- الثاني يعتمد على مبدأ التبخر لتبريد الماء حيث يؤخذ الماء المبرد للاستعمال كما هي الحال في أبراج التبريد المستخدمة في تبريد مكثفات الآت التبريد مثلا .

وتبريد الهواء من تبخر الماء إحدى الطرق المتبعة في تكييف الهواء وخصوصا في التكييف الصناعي للأماكن التي تتطلب رطوبة مرتفعة كمعامل النسيج مثلا .

وفي مثل هذه الحالات تستخدم تجهيزات مشابهة لتجهيزات تكييف الهواء مع الفارق أننا نستعمل التبريد بالترطيب (من تبخر الماء) .

١٦-١٥ المرطبة ذات البخاخات :

وتشمل هذه المرطبة بشكل رئيسي على غرفة تحتوي على فالات لتذرير الماء وحوض لتجميع الماء المتساقط وصفائح لحجز قطرات الماء التي لا تتبخر وتبقى عالقة بالهواء، وهذه القطرات تعود إلى حوض تجميع الماء .

مضخة تدوير الماء ذات تدفق عال لزيادة عملية التذرير وزيادة معدل التبخر .

إن التلامس بين تيار الهواء ورذاذ الماء يسبب تبادل حرارة مع تبادل بالكتلة بين الماء والهواء .

يتغير طول غسالات الهواء من (1.3 m) إلى (3.3 m) متر وهذا يعتمد على عدد صفوف البخاخات .

مساحة المقطع العرضي تحدد بحسب سرعة جريان الهواء المصممة ضمن غرفة المرطبة .

وغسالات الهواء مناسبة للتدفق من ($1m^3/s$) إلى ($140\ m^3/s$) ولا يوجد حدود نظامية لذلك . فكل منتج أو شركة صانعة تعطي مواصفات التجهيزات والخواص الفيزيائية لمنتجاتها ، مثل : تدفق وسرعة الهواء، كثافة بخاخات الماء ، ضغط بخ الماء ، وباقي المواصفات التصنيعية العامة.

والتصميم البسيط للمجموعة التي تحتوي على صف واحد من البخاخات مع صندوق بطول من (1.3 m) إلى (2.3 m) . وهذا النموذج يمكن أن يستعمل كمبخر تبريدي أو مرطبة أو كمنظف هواء إذا كان هناك غبار بالهواء . ويمكن زيادة مردود تنقية الهواء بإضافة بخاخات لغسل الصفائح المانعة لمرور قطرات الماء ، ويُستعمل صفان من البخاخات أو أكثر عندما يكون هناك حاجة لإيصال الهواء إلى درجة الإشباع (أي زيادة مردود المرطبة) ويستعمل الماء المبرد لتبريد الهواء أو لإزالة الرطوبة منه .

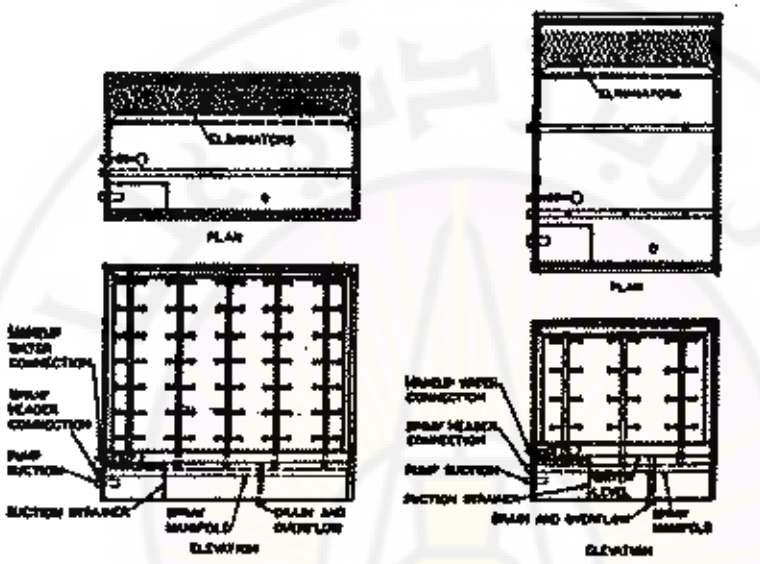
ويمكن استعمال مرحلتين لإزالة الرطوبة إذا كانت درجة حرارة الماء غير كافية أو أعلى من الدرجة المطلوبة .

ترتب البخاخات بحيث تعطي تيارات متعاكسة من الماء وهذا يتطلب كمية أقل من الماء ودرجة حرارة أعلى للماء للنتيجة نفسها.

شكل (a) و (b) يوضح نموذجاً بصف ونموذجا بصفين من البخاخات لغسالة هواء .

الشيء الرئيسي الواجب تأمينه في غسالات الهواء هو جريان الهواء بشكل منتظم ضمن غسالة الهواء وتوزيعه بانتظام على المقطع العرضي للغسالة، وتكون سرعة الهواء من (1.7 m/s) إلى (4 m/s) في غرفة الترطيب .

الضغط في بخاخات الماء (250 K.Pa.) إلى (390 K.Pa.) كيلو باسكال (مطلق) ويجب أن يكون التوزيع جيدا للبخاخات على المقطع العرضي لجريان الهواء مع طول كاف لمرور الهواء عبر البخاخات وسطوح الترطيب، كما تستخدم صفائح فعالة مانعة لخروج قطرات الماء مع الهواء تركب في نهاية المرطبة .



Typical Single-Bank Air Washer (a)

Typical Two-Bank Air Washer (b)

تكون غسالات الهواء في أغلب الحالات ذات مقطع مربع، وهذا يعود للاقتصادية في تصنيع الجهاز. أما الطول فإنه يتغير بشكل كبير من جهاز إلى آخر، ويكون الفراغ من (0.75 m) إلى (1.5 m) بين صفوف البخاخات المستعملة . والصف الأول والأخير يكونان على بعد من (0.3 m) إلى (0.45 m) من طرفي الدخول والخروج لغسالة الهواء . يمكن أن تزود غسالة الهواء بوشيعة تسخين أو تبريد، وهذه الوشيعة يمكن أن تزيد من طول غسالة الهواء .

كمية الماء المبخوخ من بخاخات الماء في غسالات الهواء المستعملة للتنظيف أو للتبريد بالتبخر تتغير من (0.3 Kg/s) في حالة صف واحد إلى (0.7 Kg/s) في

حالة صفين من البخاخات لكل (0.5 m^3/s) من الهواء . ضاغط المضخة المستعملة يتراوح من (180 kPa.) إلى (270 kPa.) وهذا يعتمد على : الضغط في البخاخات ، (ضغط البخ) ، ارتفاع الجهاز ، الضياع نتيجة انخفاض الضغط بالجريان في الأنابيب ومصفيات الماء والصمامات وغيرها .

مقاومة جريان الهواء عبر غسالة الهواء يتغير بحسب محتويات غسالة الهواء من حواجز وبخاخات ومانع قطرات وسطوح ترطيب وعدد صفوف البخاخات واتجاهاتها وسرعة الهواء ، ووجود وشيعة تسخين أو تبريد وحجم الغسالة ، وكذلك كثافة الهواء ، وتتراوح هذه المقاومة من (60 Pa) إلى (250 Pa) باسكال .

وعند اختيار غسالة هواء يجب الرجوع الى نشرات الشركات الصانعة لمعرفة المقاومة الكلية للغسالة، وكذلك لتحديد القياسات و المواصفات الخاصة بها.

يصنع غلاف و خزان الماء في غسالة الهواء من معادن مختلفة، و الصاج المزنبق هو الشائع لمثل هذه الحالات، و يقوى بزوايا داخلية ويربط الغطاء بواسطة البراغي. و تزود بباب أو أكثر لأعمال الصيانة.

في غسالات الهواء التي تزيل الرطوبة يبرد الماء بأخذه من حوض الغسالة الى مبرد الماء ضمن دارة أنابيب ومضخة خاصة لذلك .

تبعد صفائح مانعة مرور قطرات الماء عن بعضها مسافة من (2.5cm) إلى (5cm) وتركب على مخرج غرفة الترطيب . و تكون مشكلة بعدد من الانحناءات

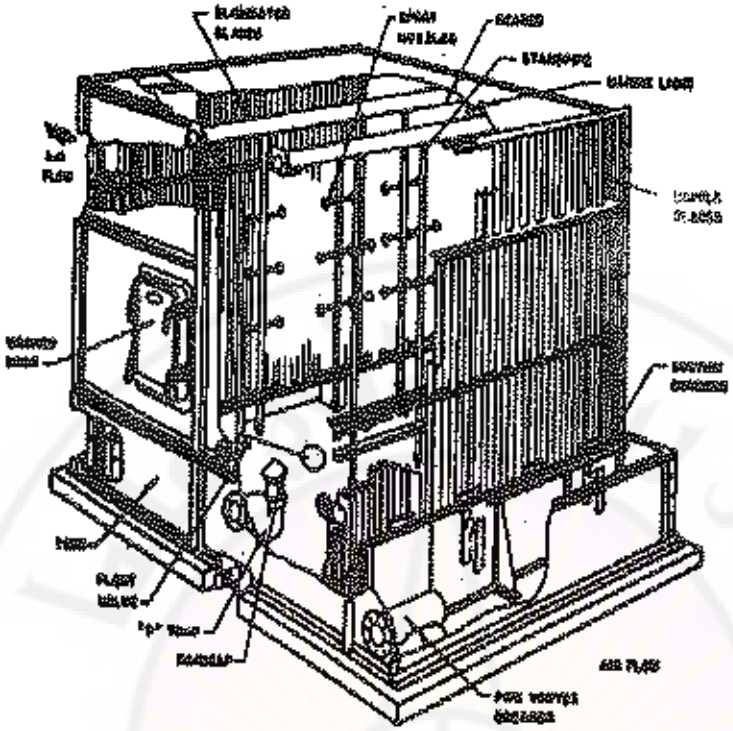
يمكن أن تركب صفيحة مثقبة على مدخل غسالة الهواء لتساعد على توزيع الهواء على كامل مقطع الجريان فيها . كما يمكن تركيب منظم هواء على المدخل أو المخرج لتحديد كمية الهواء الداخل ، وهو عبارة عن صفائح متحركة (خوانق - Dampers) .

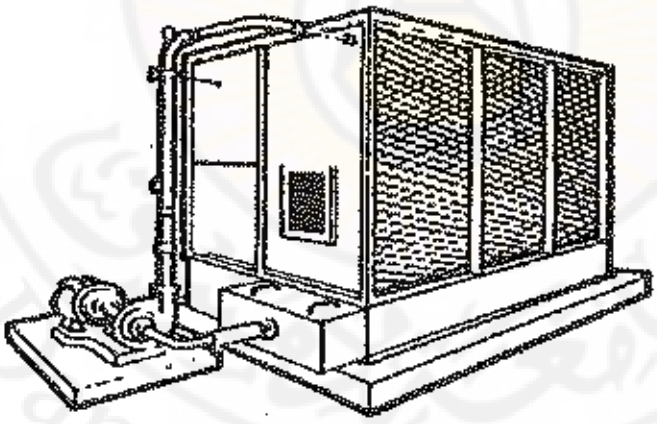
تصمم الفالات لتذرير الماء إلى ذرات صغيرة ومنتظمة ويتغير الضغط من (250kPa) إلى (390kPa) كيلو باسكال مطلق. إن الفالات ذات الفتحات الصغيرة مع ضغط مرتفع (390kPa) تعطي التذرير الناعم و الضروري من أجل زيادة مردود المرطبة. و إذا كانت فتحات الفالات كبيرة مع ضغط (280kPa) تكون مناسبة لإزالة الرطوبة، وتكون الفالات المستعملة من النوع القابل للتنظيف والفك. و التدفق من كل فالة يتغير من (0.07kg/s) إلى (0.25kg/s) . وكثافة البخ تكون عادة من (0.7kg/s) إلى (3.4kg/s) على المتر المربع من مساحة المقطع العرضي . تتغير المسافات بين الفالات بحيث يركب من (8) إلى (27) فالة في المتر المربع لكل صف من الفالات.

الفالات المستعملة لغسيل صفائح مائعات قطرات الماء ذات تدفق حوالي من (0.07 Kg/s) للفتحة و ضغط من(121kPa) إلى (136kPa). يركب عادة مصفاة ماء على مأخذ ماء السحب من حوض تجميع ماء غسالة الهواء ، و تكون عادة من صفائح مثقبة من النحاس ملفوفة على شكل أسطوانة مركبة على مأخذ أنبوب السحب للمضخة الموصلة إلى الحوض، و يجب أن تكون هذه المصفاة قابلة للتنظيف و الفك و التبديل عند اللزوم . و يمكن استخدام أنواع أخرى من مصافي الماء لهذا الغرض.

يجهز حوض الماء في غسالة الهواء بصمام فواشة للمحافظة على منسوب معين للماء، ويجهز الحوض بأنبوب تصريف الفائض إذا ارتفع منسوب الماء عن حد معين . كما يجهز الحوض بمصرف تفريغ للتمكن من تنظيفه عند اللزوم و يوضع جهاز إنارة من النوع الذي يعمل ضمن الماء في غرفة المرطبة لضرورات المراقبة و الصيانة .

الشكل التالي يبين نموذجاً لغسالة الهواء .





AIR WASHERS

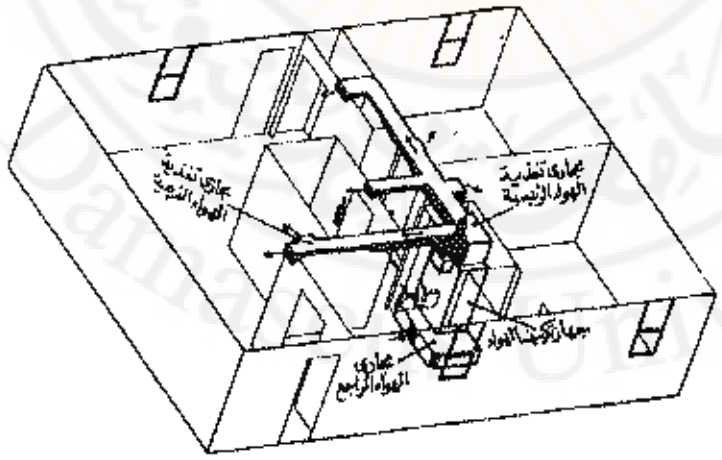
وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل السادس عشر
تصميم المجاري الهوائية
AIR DUCT DESIGN

١٦-١ مجاري الهواء:

تستعمل عادة مجاري الهواء لنقل الهواء المعالج من مجموعة إرسال الهواء إلى المكان المكيف، وتتألف من مجار على أشكال مختلفة مربعة، مستطيلة أو دائرية. وإن التصميم لهذه المجاري يجب أن يأخذ بعين الاعتبار عدة عوامل مثل الفراغ المتوافر لمرور هذه المجاري، طريقة توزيع الهواء مستوى الضجيج، الضياعات الحرارية أو الربح الحراري للمجاري، الكلفة التأسيسية وكلفة التشغيل. يبين الشكل رسما بسيطا لتوزع مجاري الهواء . ولكي تعمل أجهزة التكييف بشكل جيد فإنه يجب علينا أن نحسب بدقة كميات الهواء المارة في كل مجرى، ونحدد المقطع المناسب لذلك حسب التدفق و ضياع الضغط المسموح به.

من الوجهة الاقتصادية تفضل المجاري دائرية المقطع وذلك لأنه لها أقل فاقد احتكاكي وأقل عادم للمادة المصنع منها المجرى علاوة على احتياجها لحيز أقل عند مقارنتها بالمجاري مستطيلة المقطع.



مساحة المقطع الدائري

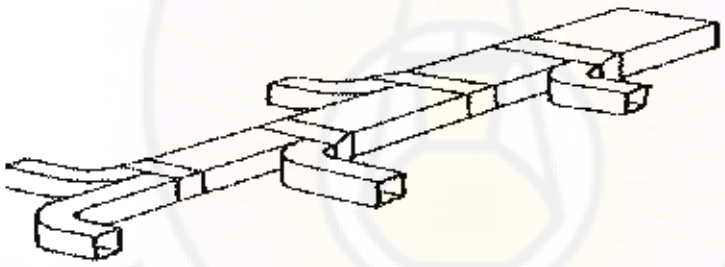
$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

حيث:

D - عبارة عن مقطع المجرى.

من الوجهة المظهرية تفضل المجاري مستطيلة المقطع وذلك لسهولة التصنيع وإمكانية خفض ارتفاع الممرات اللازمة للمجاري.

٢-١٦ حساب أبعاد مجاري الهواء:



يعتمد حساب ابعاد المجرى على العلاقة التالية:

$$M = A \times V$$

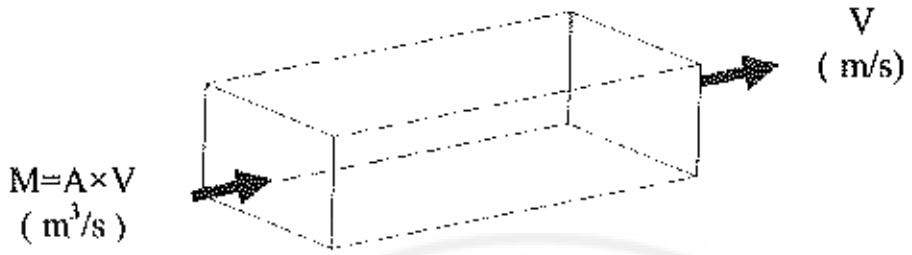
حيث:

V - سرعة الهواء بالمجرى (m/s)

A - مساحة مجرى الهواء (m^2)

M - كمية الهواء المتدفق (m^3/s)

مساحة المقطع المستطيل هي: $A = W \times H$



حيث: $W \times H$ عبارة عن الأبعاد الجانبية للمقطع، ويفضل استخدام أصغر نسبة باعية (طول إلى العرض)

ومن المتغيرات الثلاثة تكون M معروفة عادة من اعتبارات سابقة مثل الحاجة إلى كمية الهواء اللازمة لأغراض التهوية، أو لتعالج حملاً حرارياً معيناً. ولذلك فإن العملية تصبح تحديد سرعة هواء مناسبة أو انخفاض ضغط مناسب في مجرى الهواء. ويمكن استعمال مخططات خاصة لحساب أبعاد مجاري الهواء بدلالة التدفق وانخفاض الضغط أو السرعة.

١٦-٢-١ طرق حساب مجاري الهواء:

تستعمل لحساب مجاري الهواء عدة طرق نذكر منها:

أ- طريقة انخفاض ضغط ثابت

ب- طريقة انخفاض السرعة

وسنشرح كلاً من الطريقتين:

أ- حساب أبعاد المجاري بطريقة انخفاض ضغط ثابت:

يتم اختيار انخفاض ضغط ثابت لكل متر طولي في شبكة توزيع الهواء وبحيث لا تزيد سرعة جريان الهواء عن الحد المسموح.

ويمكن اختيار قيمة انخفاض الضغط طبقاً لما يلي:

تمديدات مجار بضغط منخفض $\Delta P = 0.5 \rightarrow 0.8 \rightarrow 1.2 Pa/m$

تمديدات مجار بضغط متوسط $\Delta P = 1.6 \rightarrow 2.5 Pa/m$

تمديدات مجار بضغط عال $\Delta P = 4 Pa/m$

وبمعرفة كمية الهواء في كل مقطع يتم إيجاد قطر المجرى من مخطط اختيار مقطع مجاري الهواء. وهنا لا بد من السؤال ما هو انخفاض الضغط الواجب استعماله ليكون التصميم اقتصاديا والجواب إن انخفاض الضغط الكبير يسبب سرعة هواء كبيرة وبالتالي أبعاد مجار صغيرة، ولكن كلفة دفع هواء في المجاري عالية مع الحاجة إلى مروحة ذات ضغط مرتفع.

أما إذا كان انخفاض الضغط صغيراً فينتج عن ذلك سرعة هواء صغيرة وأبعاد مجار كبيرة ولكن كلفة دفع الهواء تكون قليلة.

وهذا التحليل نفسه ناقشناه في حساب أقطار الأنابيب من أجل دارات التدفئة، وكذلك هنا يجب أن يدخل عامل الاقتصاد بعين الاعتبار من أجل الحصول على القطر الاقتصادي لمجرى الهواء، وبذلك يتعلق انخفاض الضغط الاقتصادي بنوع جهاز التكييف، وبالتدفق الأعظمي للهواء وبعدد ساعات التشغيل.

بعد تعيين وحساب جميع المقاطع الرئيسية والفرعية نحسب انخفاض الضغط الكلي لأبعد نقطة عن المروحة، وهذا يكون الضغط الكلي المطلوب من المروحة ويساوي

$$\Delta P_t = \Delta P (L1 + L2)$$

حيث: L1 طول المجرى الرئيسي بـ (m).

L2 الطول المكافئ للوصلات الموجودة في المجرى بـ (m).

ب ـ طريقة انخفاض السرعة:

تستعمل هذه الطريقة عند حساب مجاري الهواء لأجهزة التكييف والتهوية التي تعمل بضغط منخفض.

والجدول التالي يبين بعض القيم الموصى بها للسرعات (m/s)

نوع الجهاز	المجرى الرئيسي		المجرى الفرعي	
تكييف بضغط منخفض في الأبنية:	السرعة الموصى بها	السرعة العظمى	السرعة الموصى بها	السرعة العظمى
المسكونة	3.5 - 4.5	6	3	5
العامة	5 – 6.5	8	3 -4.3	6.5
الصناعية	6- 9	11	4 – 5	9
تكييف بضغط عالي	8 – 13	25 – 30	10	23

تعتمد هذه الطريقة على اختيار سرعات مناسبة لجميع أجزاء الشبكة بشكل متناقص من المقطع الرئيسي إلى المقطع الفرعي وهكذا. ويتم اختيار السرعات بناء على خبرة المهندس المصمم وطبقاً للقيم التي توصي بها الشركات الصانعة، بعد الأخذ بعين الاعتبار طول المجرى والتدفق، والكلفة، والضجيج.

من معرفة التدفق (M) واختيار السرعة المناسبة للهواء (W)

يتم حساب مقطع المجرى (A) من العلاقة:

$$A = \frac{M}{V}$$

ثم نحسب انخفاض الضغط في أجزاء الدارة وتجمع الضياعات الكلية التابعة للدارة الأبعد لتحديد ضغط المروحة. ويتوجب علينا توازن الدارات والعمل على توازنها بزيادة أو تنقيص السرعات.

٣-١٦ اعتبارات عامة في تصميم المجاري:

الغرض من تصميم المجاري هو تغذية كمية معينة من الهواء كل مخرج في الأماكن المكيفة. تصنع جميع المجاري في عمليات تكييف الهواء من الصاج المزنبق (المغلفن) لسهولة تشكيله. يختلف سمك الصاج تبعاً لأبعاد مقطع المجرى.

للمجاري الصغيرة والتي لا يتجاوز طول أكبر ضلع فيها 75cm تصنع من صاج سمكه 0.75 *mm* وللمجاري التي يزيد طول أحد أضلاع مقطعها عن 75cm تصنع من صاج سمكه 1 *mm* . يمكن تصنيع المجاري من مواد أخرى.

حاليا تستخدم المجاري المصنعة من الصوف الزجاجي (Fibr glass) وذلك لقدرتها على امتصاص الضوضاء والعزل الحراري والمائي. يمكن التحكم في مستوى الضوضاء بتحديد سرعة جريان الهواء، وباستخدام مواد ماصة للصوت وتجنب وجود عوائق مثل خنق هوائي شبه مقفل.

يغطى المجرى بالعازل الحراري والعازل المائي ويجب ألا تسمح المجاري الهوائية بتسرب الهواء

٤-١٦ العوامل المؤثرة على تخطيط المجاري

إن تخطيط أنظمة المجاري الهوائية مهم جداً وعادة نحدد أماكن مخارج الهواء وأجهزة التكييف.بعد ذلك نحدد مجاري الهواء التي تتفق مع سهولة تصنيع وتركيب المجاري.

يؤثر على تخطيط المجاري الهوائية العوامل التالية:

- الحرارة المكتسبة أو المفقودة خلال المجاري.
- نسبة الطول إلى العرض (Aspect ratio) لأضلاع المقطع المستطيل.
- معدل فاقد الاحتكاك لكل متر طولي للمجاري المستقيمة.
- أنواع تركيبات المجاري وعددها.

يؤدي زيادة نسبة الطول إلى العرض إلى زيادة كل من الحرارة المنتقلة خلال المجاري، التكلفة الأولية معامل الاحتكاك وبالتالي تكلفة التشغيل .

من الدراسات الدقيقة اتضح أنه من الأفضل تصميم المجاري الهوائية لأقل نسبة باعية (نسبة الطول إلى العرض)، ويتبع ذلك أن تكون أقل تكلفة للمقاطع

الدائرية، يليها المقاطع المربعة ثم المقاطع المستطيلة ذات النسبة الرباعية الصغيرة

١٦-٥ تصنيف أنظمة المجاري الهوائية

تصنف المجاري بالنسبة إلى سرعة خروج الهواء من المراوح إلى:

أ ـ أنظمة السرعات المنخفضة (V = 4 → 12 m/s) مع انخفاض للضغط مقداره (0.8 → 1.2 Pa).

ب ـ أنظمة السرعات العالية (V = 12 → 20 m/s) مع انخفاض للضغط مقـــداره (3 → 5 Pa).

تصنف المجاري بالنسبة إلى الضغط الكلي للمراوح إلى:

أ ـ أنظمة الضغط المنخفض (P ≤ 900 Pa)

ب ـ أنظمة الضغط المتوسط (900 < P < 1600)

ج ـ أنظمة الضغط العالي (1600 < P < 3000)

١٦-٦ طرق تخطيط المجاري الهوائية

ينقل الهواء المكيف من جهاز التكييف إلى الأماكن المختلفة خلال مجاري هوائية علوية تمتد خلال السقف المستعار إلى مخارج سقفية أو حائطية علوية. هذا النظام مفضل إذا كان تبريد الهواء هو الغالب على مدار السنة.

توجد طريقتان لتخطيط المجاري:

أ ـ طريقة المجاري المستقلة

في هذه الطريقة يجمع الهواء المكيف عند مخرج المروحة في صندوق تجميع ومنه تخرج فروع مستقلة إلى أي مكان أو حجرة يراد تكييفها

ب ـ طريقة المجرى الرئيسي

في هذه الطريقة يخرج الهواء من المروحة في مجرى رئيسي، يتفرع منه مجاري فرعية صغيرة إلى الأماكن المختلفة المراد تكييفها.

١٦ـ٧ مكونات أنظمة نقل الهواء:

١ ـ جانب السحب للمروحة

يشتمل جانب السحب للمروحة على مجرى الهواء الخارجي، مجرى الهواء الراجع وفتحات الراجع .

٢ـ جانب التغذية للمروحة

يشتمل جانب التغذية للمروحة على مجرى التغذية الرئيسي المجاري الفرعية ومخارج هواء التغذية .

١٦ـ٨ تصميم المجاري الهوائية :

عند تصميم المجاري الهوائية يجب إتباع الخطوات التالية:

أ ـ يدرس المبنى أو رسوماته.

ج ـ توقع وتُختار مخارج وفتحات الهواء وأبعادها لتعطي كميات الهواء المطلوبة في كل حيز حسب حمل التبريد الخاص به.

د ـ توقع أبسط وأنسب المسارات للمجاري وتسجل عليها كميات الهواء المتداولة.

هـ ـ تحسب أبعاد مجاري الهواء للتغذية وللراجع.

و ـ يحدد فاقد الاحتكاك في نظام نقل الهواء.

ز - يحسب انخفاض الضغط الكلي لكل مسار.

ح - يتم توازن المجاري الفرعية باستخدام خوانق تحكم (Control dampers)

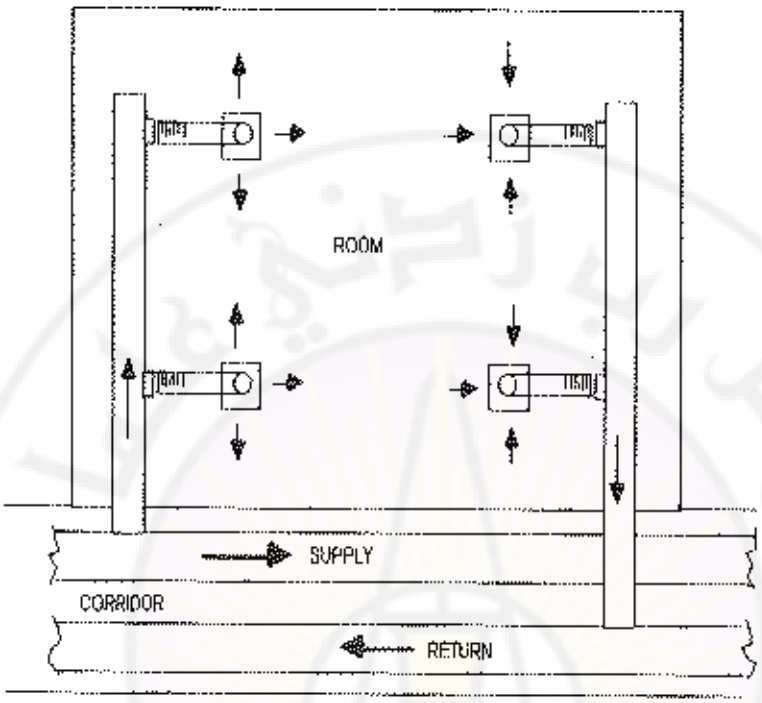
يعطي الجدول التالي فواقد الاحتكاك لبعض معدات المجاري الهوائية:

العنصر	فاقد الاحتكاك (Pa)
مدخل الهواء أو مدخل المروحة	25 – 1.25
وشيعة التبريد أو التسخين	90 – 25
وحدات الترطيب	90 – 50
الفلاتر	100 – 50
نظام المجاري	100 – 10
ستائر أو فتحات هواء	50 – 25
مخارج الهواء	25
الضغط الاستاتيكي للمروحة	400 - 250

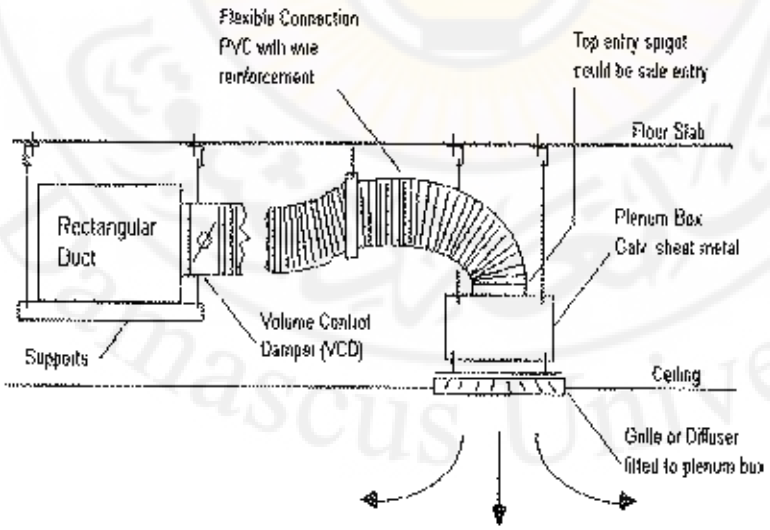
ويعطي الجدول التالي سرعات الهواء المفضلة لأنظمة السرعات المنخفضة

العنصر		سرعة الهواء (m/s)
مدخل الهواء الخارجي	(Outdoor)	2.5 – 6
مخارج هواء العادم	(Exhaust outlets)	2.5
الفلاتر	(Filters)	1.25 – 1.8
وشيعة التسخين	(Heating coils)	
وشيعة التبريد	(Cooling coils)	2 – 3
وشيعة إزالة الرطوبة	(Dehumidifying coils)	
غسالة الهواء	(Air washer)	2.5
مخارج المراوح	(Fan outlets)	5 – 12
مجاري رئيسية	(Main ducts)	4 – 9
مجاري فرعية	(Branch ducts)	3 – 5

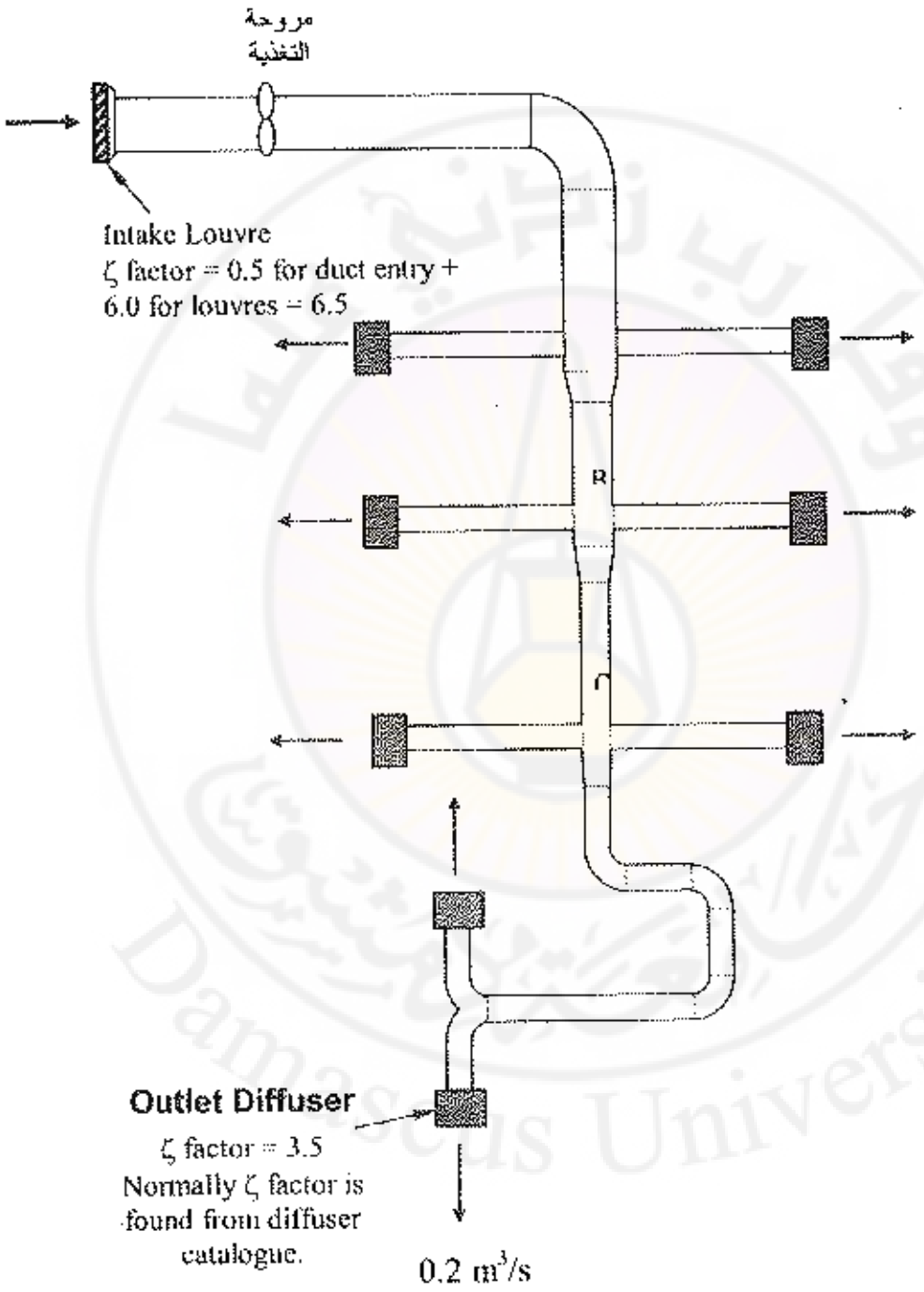
يبين المخطط توضع مجاري وفتحات التغذية و الرجوع



PLAN VIEW ABOVE CEILING



يبين الشكل مخطط مجرى التغذية و فتحات التغذية



٩-١٦ أنظمة الهواء الراجع :

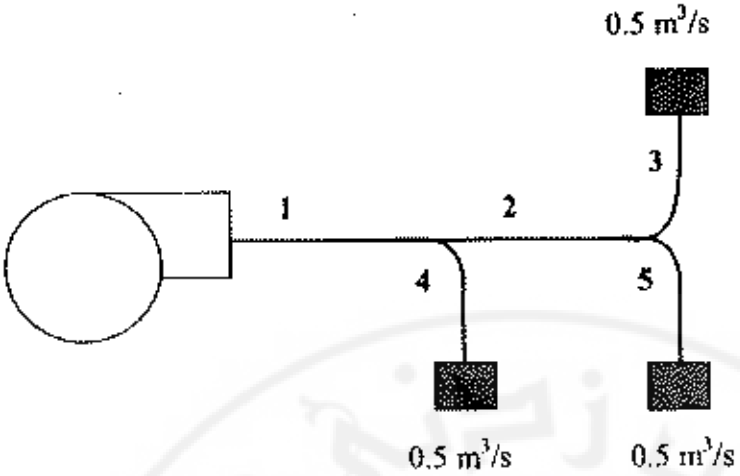
يسري الهواء الراجع من المجاري الفرعية إلى المجرى الرئيسي ومنه إلى المروحة، عادة تستخدم طريقة انخفاض الضغط الثابت لتصميم مجاري الراجع ذات السرعات المنخفضة والعالية. يفضل اختيار مجاري الراجع القصيرة والتصميم لفاقد احتكاك لكل متر طولي مقداره 0.65Pa أو 80% من قيمة فاقد الاحتكاك لمجرى التغذية.

يعطي الجدول سرعات هواء الراجع المفضلة بالوحدات متر/ثانية.

المكان	V (m/s)
فوق الأماكن المأهولة	4
قرب الكراسي	2 – 3
بعيدا عن الكراسي	3 – 4
خلال الأبواب ، أسفل الأبواب أو فتحات حائطية	1 – 1.5

مثال١ :

احسب أبعاد مجاري الهواء المربع الشكل و المبين في الشكل التالي بطريقة انخفاض ضغط ثابت 1 Pa/m و أوجد السرعة في كل مجرى . إذا علمت أن سماكة السقف المستعار هي 0.45m .



الحل:

من المخطط والجدول نجد أن

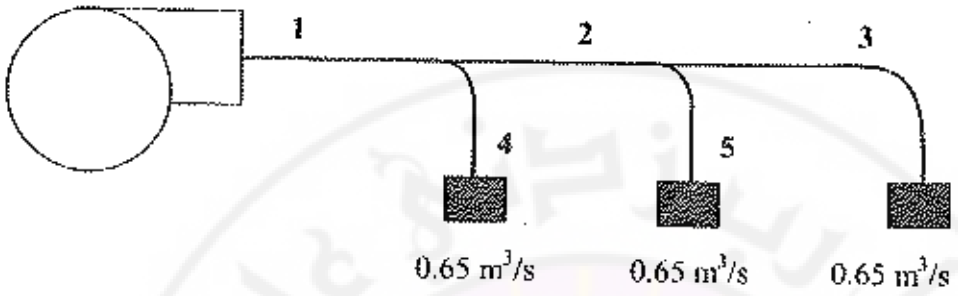
رقم المجرى	التدفق m^3/s	القطر m	سرعة الهواء m/s	أبعاد المجرى mm
1	1.5	0.5	7	700 × 400
2	1	0.44	6.5	500 × 400
3	0.5	0.34	5.5	300 × 400
4	0.5	0.34	5.5	300 × 400
5	0.5	0.34	5.5	300 × 400

بعد تحديد القطر أو أقرب قطر نختار أبعاد المجرى بحيث يكون أقرب ما يكون للمربع من جدول تحويل القطر الدائري إلى مستطيل المرفق بأخر الفصل

مثال٢:

احسب أبعاد مجاري الهواء المبينة بالشكل التالي علما أن السرعة في المجرى بعد المروحة مباشرة تساوي 8 m/s و السرعة في المجرى الرئيسي الثاني 7 m/s و في باقي الفروع 4 m/s واحسب انخفاض

الضغط الناتج عن الاحتكاك في الدارة الأبعد إذا علمت أن المجرى رقم 1 طوله m 15 و المجرى رقم 2 طوله m 10 والمجرى رقم 3 طوله m 20 .



الحل:

رقم المجرى	التدفق m^3/s	سرعة الهواء m/s	القطر m	انخفاض الضغط Pa/m	أبعاد المجرى mm	طول المجرى m	انخفاض الضغط في المجرى
1	1.95	8	0.55	1.2	700 × 450	15	18
2	1.35	7	0.47	1.2	500 × 450	10	12
3	0.65	4	0.45	0.4	450 × 450	20	8
4	0.65	4	0.45	0.4	450 × 450		
5	0.65	4	0.45	0.4	450 × 450		

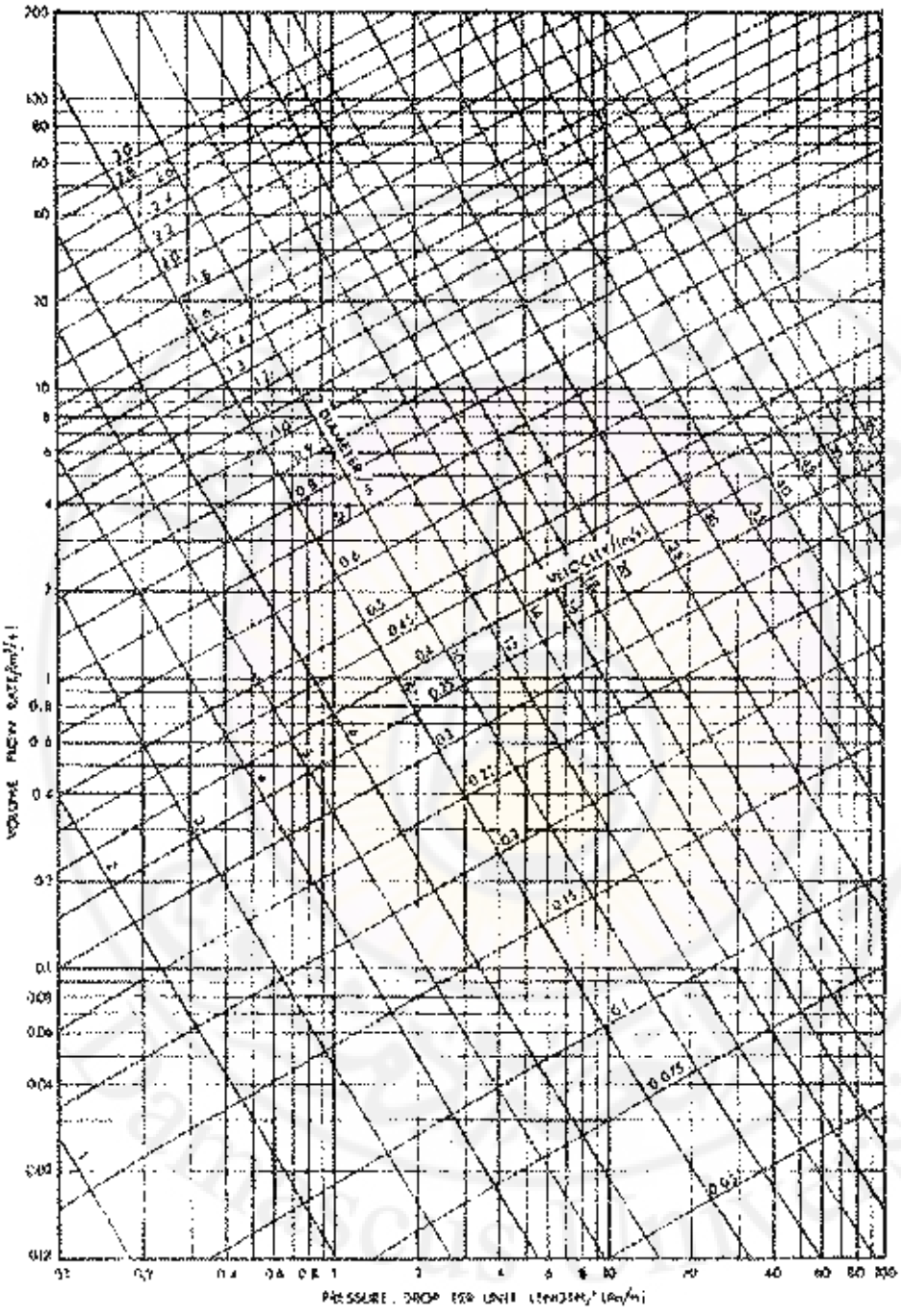
نقاطع التدفق مع السرعة في المخطط فنحصل على القطر الدائري نحوله لمربع

كما نقرأ قيمة ضياع الضغط من المخطط أيضا

ضياع الضغط في الدارة الأبعد للمجاري فقط.

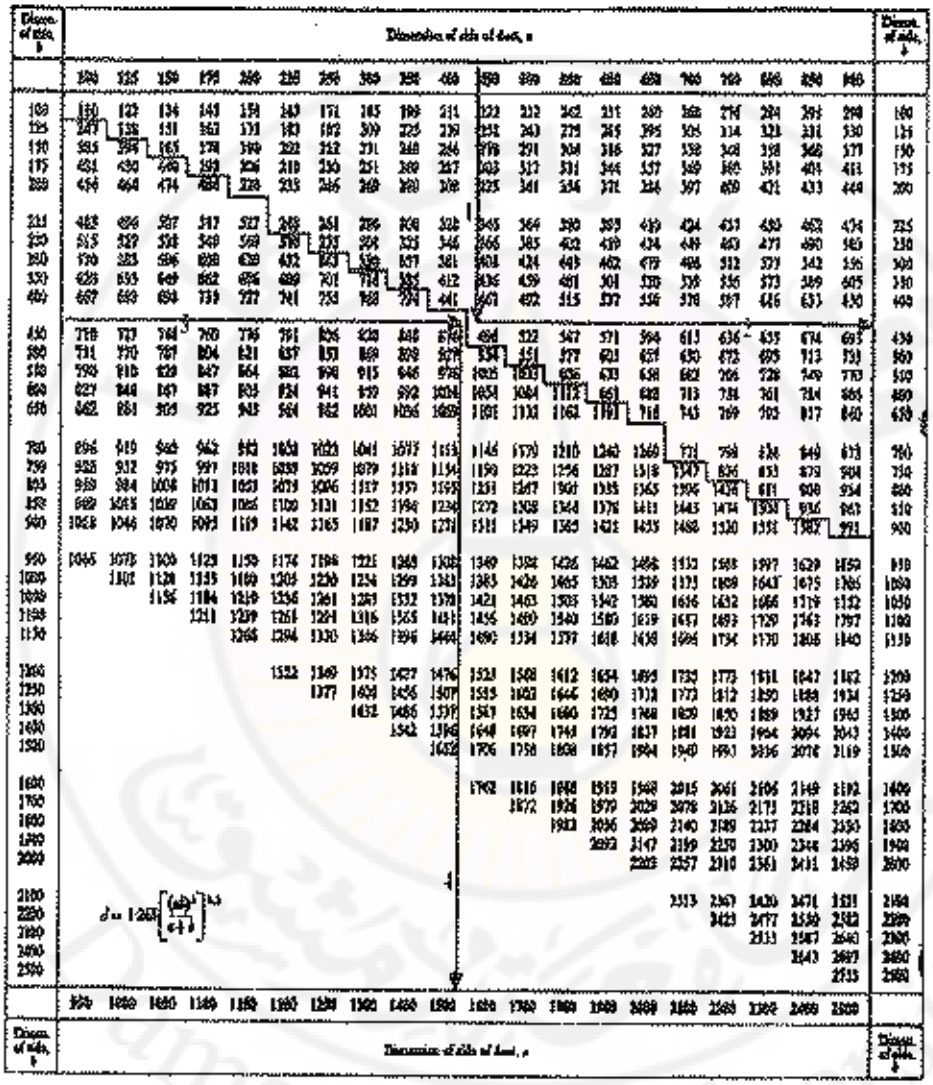
$$\sum \Delta P = 18+12+8 = 38\ Pa$$

مخطط حساب القطر الدائري لمجاري الهواء



جدول تحويل القطر الدائري للدكت إلى قطر مستطيل بدلالة أحد أبعاد الدكت (المستطيل) من كتاب IHVE

Table C4.20, Equal volume flow rate, pressure drop and surface roughness
Read diameters above stepped line up to top scale and diameters below stepped line down to bottom scale



*** السهم يوضح طريقة أخذ القيمة من الجدول بدلالة أحد الأبعاد

جدول حساب إنخفاض الضغط في الدكت

TABLE C4.28 Velocity pressure loss factors for duct fittings.

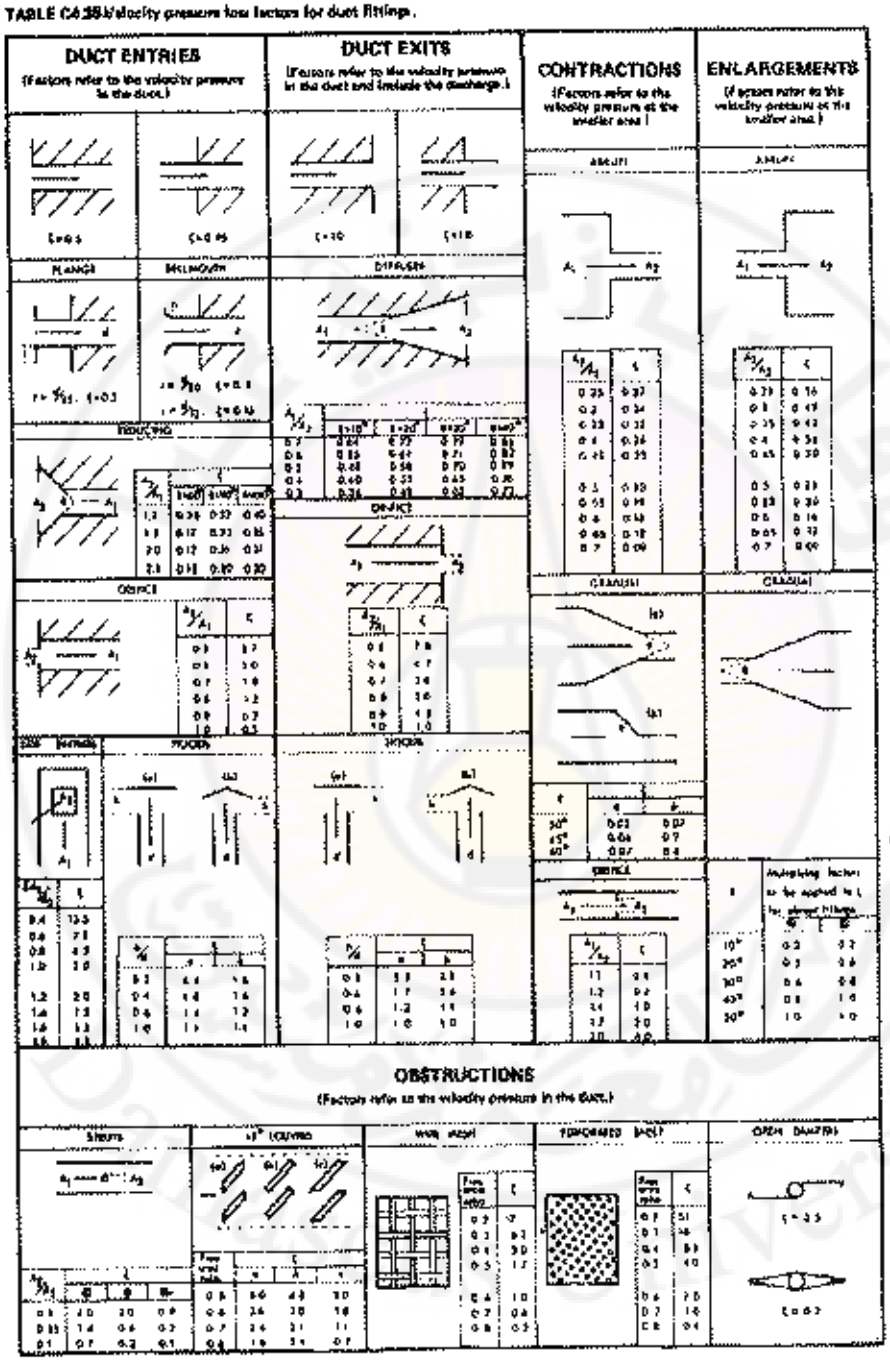


TABLE C4.39 Velocity pressure loss factors for duct fittings — continued

RADIUS BENDS

(Factors refer to the velocity pressure in the duct.)

CIRCULAR DUCTS $\theta = 90°$



Bend radius / Width	ζ			
	$r/d < 1$	$1 \le r/d < 2$	$2 \le r/d < 3$	$r/d \ge 3$
Smooth	0.24	0.20	0.17	0.27
1	0.49	0.43	0.42	0.44
4	0.63	0.34	0.32	0.36
5	0.70	0.30	0.26	0.28

RECTANGULAR DUCTS $\theta = 90°$

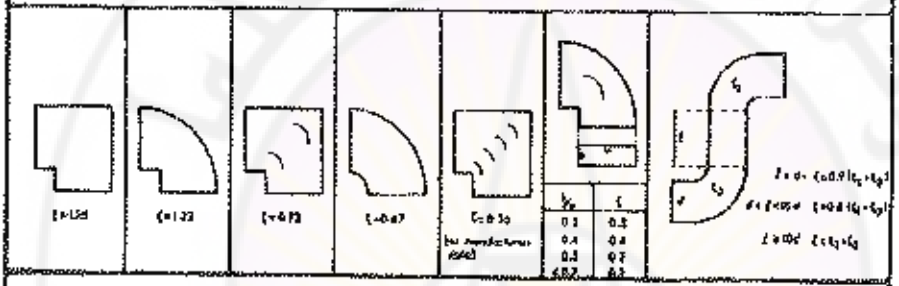


b_0/b_1	ζ			
	$r/b_1 < 0.5$	$0.5 \le r/b_1 < 1.0$	$1.0 \le r/b_1 < 1.5$	$r/b_1 \ge 1.5$
0.5	0.47	0.44	0.40	0.48
0.6	0.36	0.33	0.30	0.33
0.8	0.29	0.27	0.25	0.28
0.7	0.24	0.19	0.16	0.18
1.0	0.22	0.14	0.12	0.14
1.5	0.21	0.12	0.11	0.11
2.0	0.20	0.11	0.09	0.10
4.0	0.20	0.11	0.10	0.12
8.0	0.26	0.14	0.15	0.21

θ	Multiplying factor k_θ to ζ for $\theta < 90°$
30°	0.3
60°	0.5
45°	0.6
60°	0.8
75°	0.9
90°	1.0

MITRE BENDS

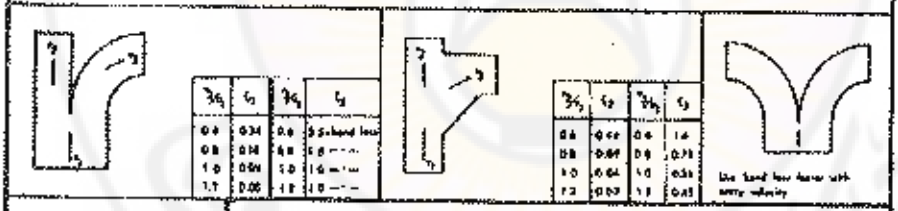
(Factors refer to the velocity pressure in the duct.)



b_2/b_1	ζ
0.3	0.3
0.4	0.4
0.5	0.7
≥0.7	0.9

RECTANGULAR DUCT BRANCHES

(Factors refer to the velocity pressure in the branch indicated by the subscript, e.g. ζ_2 is to be used with the velocity pressure in branch 2.)



A_3/A_1	ζ_3	A_3/A_1	ζ_3
0.9	0.24	0.6	5 (closed loss)
0.8	0.14	0.8	0.8 (—"—)
1.0	0.09	1.0	1.6 (—"—)
1.2	0.06	1.2	1.8 (—"—)

A_2/A_1	ζ_2	A_3/A_1	ζ_3
0.6	-0.60	0.6	1.6
0.8	-0.67	0.8	0.75
1.0	-0.64	1.0	0.55
1.2	-0.57	1.2	0.45

Use local loss factor with entry velocity

RECTANGULAR DUCT BRANCHES — continued

CIRCULAR DUCT BRANCHES

(Factors refer to the velocity pressure in the branch indicated by the subscript, e.g. ζ_1 is to be used with the velocity pressure in branch 1.)

PLENUM CHAMBER



90° BRANCH



A_3/A_1	ζ_3
0.4	2.7
0.6	2.5
1.0	2.2
1.2	2.1

45° BRANCH



A_3/A_1	ζ_3
0.4	1.1
0.6	0.7
1.0	0.4
1.2	0.4

CONICAL BRANCH



A_3/A_1	ζ_3
0.5	2.0
0.8	1.3
1.0	0.8
1.2	0.4

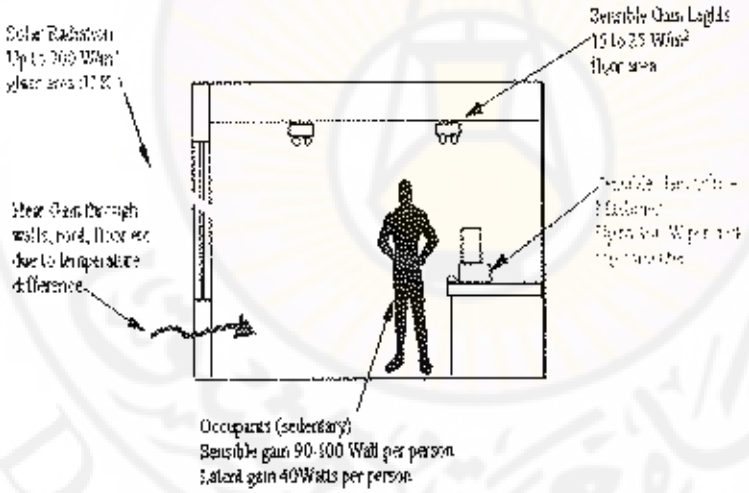
Notes to Table C4.39.

Bend angles
Where bends turn through angles of less than 90°, the pressure loss factor may be presumed to vary in the proportion $\theta/90$ unless stated otherwise.
Changes of shape (transitions)
For tapered changes of shape where $\theta < 60°$ and $A_1 = A_2$, the factor may be taken as 0.15.

Splitters
Where straight ducts have splitters, the straight duct friction loss through each component part should be considered.
Approaches
The values for the pressure loss factors quoted here assume that the approaching velocity profile is regular. Any eccentricity or distortion may increase or decrease the loss.
Diameters
For rectangular ducts, the hydraulic mean diameter as given by equation C4.31 should be used for determining any ratios or flows.

الفصل السابع عشر
حساب الحمل التبريدي
Cooling Load Calculations

حمل التبريد هو كمية الحرارة المحسوسة والكامنة الواجب إزالتها من غرفة أو مبنى بغية الحفاظ على درجة حرارة ورطوبة نسبية ثابتة داخل المبنى أو المكان المكيف، والربح الحراري المحسوس يؤدي إلى رفع درجة حرارة الهواء الجافة، أما الربح الحراري الكامن فيؤدي إلى رفع نسبة رطوبة الهواء بدون رفع درجة الحرارة الجافة .



يبين الشكل السابق الأحمال الحرارية داخل المبنى وهي عبارة عن أحمال محسوسة (حمل إشعاع شمسي وحمل تسرب الحرارة عبر الجدران و حمل ناتج عن الإضاءة وأحمال محسوسة من الآلات بالإضافة لأحمال التهوية) وأخرى

أحمال كامنة (من الأشخاص و بعض التجهيزات) الواجب إزالتها من المبنى . فإذا ارتفعت درجة الحرارة داخل المكان إلى أعلى من 25°C فإن المكان بحاجة للتكييف للحافظ على شروط الراحة داخل المكان.

١٧-١ مصادر الربح الحراري

تنقسم مصادر الربح الحراري التي تعطي أحمال التبريد إلى :

١. الربح الحراري المحسوس الذي يؤدي إلى رفع درجة الحرارة الجافة للغرفة .

٢. الربح الحراري الكامن الذي يؤدي إلى زيادة رطوبة الهواء في الغرفة .

١٧-١-١ أحمال التبريد المحسوسة:

١- الحرارة المنتقلة عبر هيكل البناء(الجدران، الأبواب، النوافذ،الأسقف والأرضيات التي تنتج عن الاختلاف بين درجتي الحرارة الداخلية ti ودرجة حرارة الوسط المحيط to.

٢- الحرارة الناتجة عن التأثير الإشعاعي الشمسي، وتنقسم إلى نوعين:

- الحرارة المنتقلة إلى الداخل بالإشعاع عبر الزجاج والتي تمتصها السطوح الداخلية للغرفة والأثاث .
- الحرارة الممتصة عبر الأسطح والجدران الخارجية والتي تنتقل إلى الوسط الداخلي .

٣- الحرارة الداخلة مع هواء التهوية الساخن أو الهواء المتسرب .

٤- الحرارة المتولدة من الأشخاص داخل المكان المكيف، والتي تنتقل من الجسم إلى الوسط المحيط به بالحمل والتوصيل والإشعاع .

٥- الحرارة المتولدة من الإنارة والآلات والتجهيزات الكهربائية .

١٧-١-٢ أحمال التبريد الكامنة :

١- الرطوبة الداخلة مع هواء التهوية والتسرب .

٢- بخار الماء الناتج عن الأشخاص داخل المكان المكيف .

٣- بخار الماء الناتج عن عمليات داخلية مولدة له مثل الطبخ والغليان وغيرها

١٧- ٢ الحمل التبريدي:

سيتم حساب هذه الأحمال بالاعتماد على الجداول التي وضعتها جمعية المهندسين الأميركيين للتدفئة والتبريد وتكييف الهواء التي يرمز لها ASHRAE وهي:

- حمل ناتج عن جدران وأسقف المباني الخارجية بشقيه نتيجة فرق درجة الحرارة وامتصاصية الجدران والأسقف لأشعة الشمس .
- حمل ناتج عن النوافذ أيضا بشقيه كما هو الحال في الجدران والأسقف .
- حمل التهوية أو التسرب .
- حمل الإضاءة .
- حمل الأشخاص .
- حمل الأجهزة الكهربائية و المعدات .

١٧-٣ حمل التبريد الناتج عن المصادر الخارجية:

١٧-٣ -١ حمل التبريد الناتج عن الجدران والأسقف

يقسم هذا الحمل إلى مركبتين :

١- حمل التبريد نتيجة انتقال الحرارة من الخارج إلى الداخل بفعل فرق درجة الحرارة بين الهواء الداخلي t_i المنخفضة نسبيا و درجة حرارة الهواء الخارجي t_o المرتفعة كما يلي

$$Q = U \cdot A \cdot (t_o - t_i)$$

٢- حمل التبريد نتيجة امتصاصية أسطح وجدران المبنى لأشعة الشمس الساقطة عليها سواء أكانت الأشعة الشمسية مباشرة أم منتثرة .

وقد تم جمع تأثير هاتين المركبتين معا بواسطة تعبير يسمى بفرق درجة حرارة حمل التبريد:

CLTD (Cooling Load Temperature Difference) وبالتالي تعطى كمية الحرارة المكتسبة في الوسط الداخلي نتيجة المركبتين وفق العلاقة :

$$Q = U \cdot A \cdot CLTD_{corr}$$

حيث :

$$CLTD_{corr} = [(CLTD + LM) \cdot K + (25.5 - t_r) + (t_o - 29.4)] \cdot F$$

A : مساحة السقف .

U : معامل انتقال الحرارة للسقف .

K : عامل إصلاح اللون. قيمة المعامل للون الفاتح (0) وللون الأسود (1) وللون المتوسط (0.83)

F : يؤخذ مساويا للواحد في جميع الحالات إلا عندما يكون هناك سقف مستعار معزول جيدا أو يوجد سحب للهواء من فوق السقف المستعار فيساوي عندها 0.75

$(25.5 - t_r)$: قيمة للتصحيح حيث درجة الحرارة التصميمية الداخلية المعتبرة (25.5°C) .

$(t_o - 29.4)$: قيمة لتصحيح الاختلاف عن درجة الحرارة التصميمية الخارجية الوسطية المعتبرة(29.4°C).

CLTD : فرق درجة حرارة حمل التبريد للسقف, تؤخذ قيمته من Chapter 26 (ASHRAE-1981F) الجدول TABLE.5 للسقف ومن الجدول TABLE.6 للجدران بعد تحديد تركيبة الجدار من الجدول TABLE.7

LM : عامل التصحيح ويؤخذ حسب خط العرض الجغرافي من ASHRAE 1981F الجدول (TABLE.9) يتبع لخط العرض الجغرافي ، شهر التصميم واتجاه العنصر .

٢-٣-١٧ الحمل التبريدي للزجاج :

١ -- حمل ناتج عن الحمل حيث يتم الحساب وفق العلاقة التالية :

$$Q = U \cdot A \cdot CLTD$$

٢ -- حمل ناتج عن الإشعاع حيث يتم الحساب وفق العلاقة التالية :

$$Q = (A)(SC)(SHGF)(CLF)$$

حيث :

SC : هو عامل التظليل بالستائر للنوافذ ويتراوح بين (0.2-0.81) ويؤخذ من الجدول 28 (ASHRAE-1981F) Chapter-27 (TABLE.28)

SHGF : هو عامل الربح الحراري ويتعلق بخط العرض الجغرافي وتؤخذ قيمة اتجاه العنصر وشهر التصميم من (ASHRAE-1981F) Chapter26 ومن الجدول 11 (TABLE.11)

U : عامل انتقال الحرارة الكلي للنوافذ

CLF : عامل الحمل التبريدي ويتعلق باتجاه العنصر و ساعة التصميم و نوعية الزجاج . ويؤخذ من الجدول 13 (TABLE.13)

١٧-٤ الحمل التبريدي من المصادر الداخلية

١٧-٤-١ الحمل التبريدي الناتج عن الحواجز الداخلية:

يحسب من القانون التالي :

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

١٧-٤-٢ الحمل التبريدي الناتج عن الإضاءة :

يحسب من العلاقة التالية

$$Q = INPUT \cdot CLF$$
$$Q = q \cdot A \cdot CLF$$

حيث :

CLF : عامل الحمل التبريدي ويعتمد على عدد ساعات التشغيل ويؤخذ مساوياً ١

q : شدة الإضاءة (W/m^2)

A : مساحة المكان المضاء .

١٧-٤-٣ الحمل التبريدي الناتج عن الأشخاص :

أ- الحمل التبريدي المحسوس :

$$Q_S = N_O \times SENS.HG \times CLF$$

حيث :

N_o : عدد الأشخاص الموجودين في المكان .

CLF : عامل الحمل التبريدي للأشخاص و يساوي ١ .

$SENS.HG$: الحمل المحسوس من الشخص الواحد ويؤخذ من الجدول (18) (TABLE.18) من (ASHRAE-1981F) Chapter-27 .

ب- الحمل التبريدي الكامن :

$$Q_L = N_o \cdot LAT \ .HG$$

N_o : عدد الأشخاص الموجودين في المكان .

$LAT.HG$: الحمل الكامن الناتج من الشخص الواحد ويؤخذ من الجدول (18) (TABLE.18) من Chapter-27 (ASHRAE-1981F) .

١٧-٥ الحمل التبريدي الناتج من التهوية الطبيعية.

١٧-٥-١ الحمل المحسوس

$$Q_S = \frac{n \cdot C_a \cdot \rho_a \cdot V \cdot \Delta T}{3600}$$

حيث :

C_a - السعة الحرارية للهواء 1026 J/kg.°C

ρ_a - كثافة الهواء و تساوي 1.2 kg/m³

V - حجم الغرفة m^3 .

n - عدد مرات تبديل هواء الغرفة مرة/الساعة.

ΔT - فرق درجات الحرارة بين الداخل والخارج .

١٧-٥-٢ الحمل الكامن

$$Q_L = \frac{n \cdot \rho_a \cdot V \cdot L_w \cdot (w_o - w_r)}{3600}$$

L_w : الحرارة الكامنة للماء 2454 kJ/kg

$w_o - w_r$: الفرق بين الرطوبة الداخلية والخارجية.

٦-١٧ تحديد متى يكون حمل التبريد أعظميا

لتحديد ساعة وشهر التصميم نقوم بتحديد الأشهر الأكثر حرارة في السنة و هي :

(حزيران ، تموز ، آب) و هي أشهر الصيف الثلاثة

بعد ذلك نقوم بحساب الحمل التبريدي، وبعد الحصول على الحمل التبريدي للعناصر كافة في المكان المكيف وفق اتجاه ونوعية عناصره الخارجية ومن أجل كل ساعة ولكل شهر فإننا نحدد أكبر قيمة لهذا الحمل . وتكون الساعة والشهر الموافقة لأكبر حمل هي ساعة وشهر التصميم المعتبرة.

Damascus University

الفصل الثامن عشر

تكييف الهواء الصناعي

Industrial Air-conditioning

الغاية منه تأمين منتج ذي نوعية عالية بصرف النظر عن راحة الإنسان، ولا بد لتحقيقه من تحديد حالة التصميم الداخلية و طبيعة الأحمال الداخلية على مدار العام و معدل التهوية، وكذلك جودة الهواء المطلوب و نقاوته

١٨-١ استخدام الغسالات الهوائية في التكييف الصناعي:

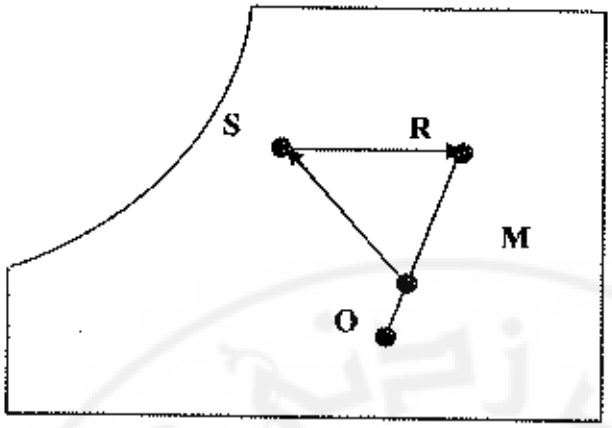
١٨-١-١ الشروط التصميمية الداخلية :

في مصانع النسيج غالبا ما تكون درجات الحرارة في المجال 24°C إلى 30°C و تكون الرطوبة المطلوبة عالية وحمل الآلات هو أكبر حمل وطبيعته الحرارية محسوسة لدرجة يمكن اعتبار معامل الحرارة المحسوسة يساوي الواحد

١٨-٢ الأنظمة المستخدمة

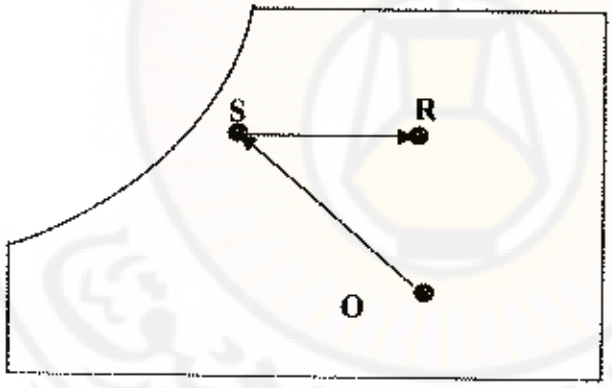
١- النظام الأول:

يتم مزج الهواء الخارجي مع الهواء المعاد بنسبة بحيث تكون درجة الحرارة الرطبة للمزيج (النقطة M) هي نفسها درجة الحرارة الرطبة لهواء التغذية (النقطة S)



ترطيب مزيج الهواء

أما الشكل الثاني فيتم العمل به عندما تكون درجة الحرارة الرطبة للهواء الخارجي O مساوية لدرجة الحرارة الرطبة لهواء التغذية (S)

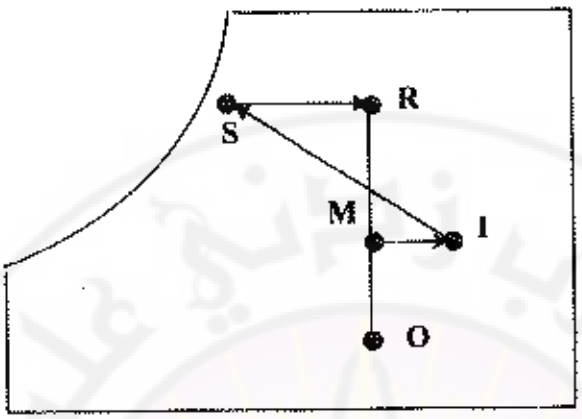


ترطيب الهواء الخارجي

٢ ـ النظام الثاني:

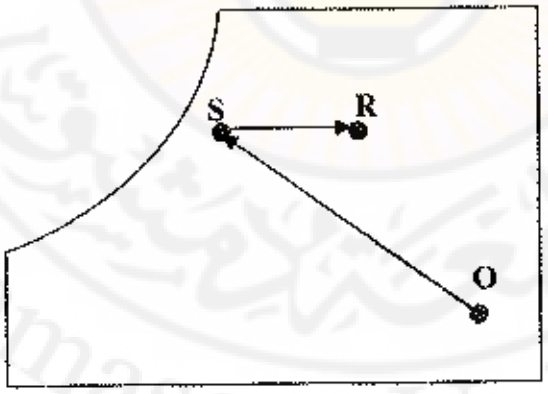
استخدام الغسالة الهوائية مع تغير معدل الهواء الخارجي حتى أن معدل الهواء الخارجي يمكن أن يصل إلى نسبة 100% ففي الشكل يتم خلط الهواء بحيث تكون

درجة حرارة الهواء الرطبة بعد التسخين إلى النقطة I مساوية لدرجة الحرارة الرطبة لهواء التغذية (S)



تسخين مزيج الهواء (الخارجي مع الداخلي) ثم ترطيب

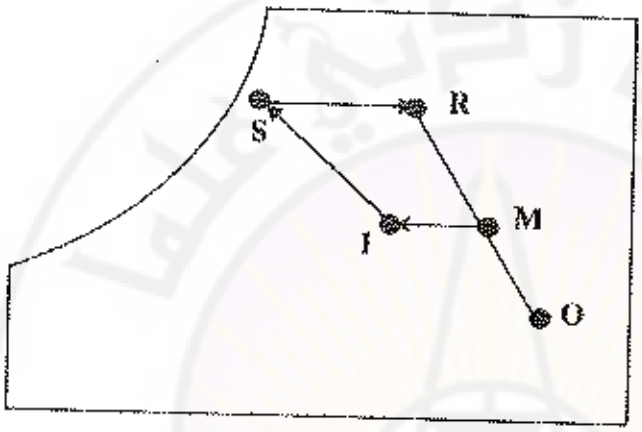
أما في الشكل الثاني فيتم الترطيب ابتداءً من النقطة O وهي تمثل الحالة الخارجية للهواء التي تحقق درجة الحرارة الرطبة نفسها لهواء التغذية.



ترطيب الهواء الخارجي

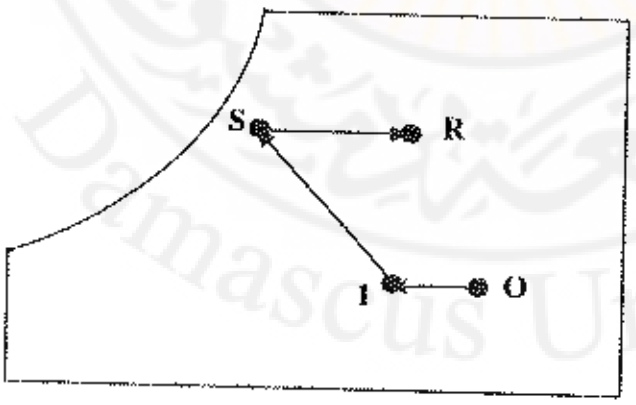
٣- النظام الثالث:

استخدام الغسالة الهوائية مع تغير معدل الهواء الخارجي حتى أن معدلاته قد تصل إلى 100% من الهواء المغذى مع استخدام مبرد أولي كما هو واضح بالشكل، حيث يتم مزج الهواء الخارجي مع المعاد بحيث تكون درجة حرارة النقطة رقم 1 مساوية لدرجة الحرارة الرطبة لهواء التغذية



تبريد مزيج الهواء (الخارجي مع الداخلي) ثم ترطيب

أما في الشكل الثاني فيتم التبريد مباشرة من حالة الهواء الخارجي O إلى درجة حرارة النقطة رقم 1 التي تحقق شرط درجة الحرارة الرطبة لهواء التغذية (S)



تبريد الهواء الخارجي ثم ترطيب

خلاصة :

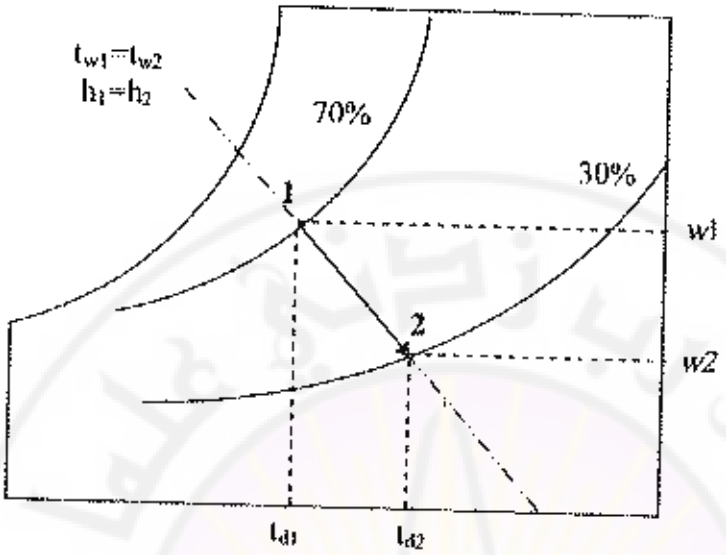
يتضح أن الأجهزة المساعدة للغسالة الهوائية تعتمد على حالة الهواء الخارجية والمصمم يجب أن يصمم نظام تكييف على مدار العام، بحيث يتم الجمع بين الأنظمة الثلاثة السابقة تحسبا لأي تغير في حالة الهواء الخارجية، بحيث تستطيع الأجهزة المساعدة تحقيق المزج الأديباتي الذي يؤمن مواصفات هواء التغذية سواءً بتغير نسبة المزج للهواء النقي أو بالتسخين أو التبريد الابتدائي للهواء.

٣-١٨ إزالة الرطوبة بالمواد الكيميائية:

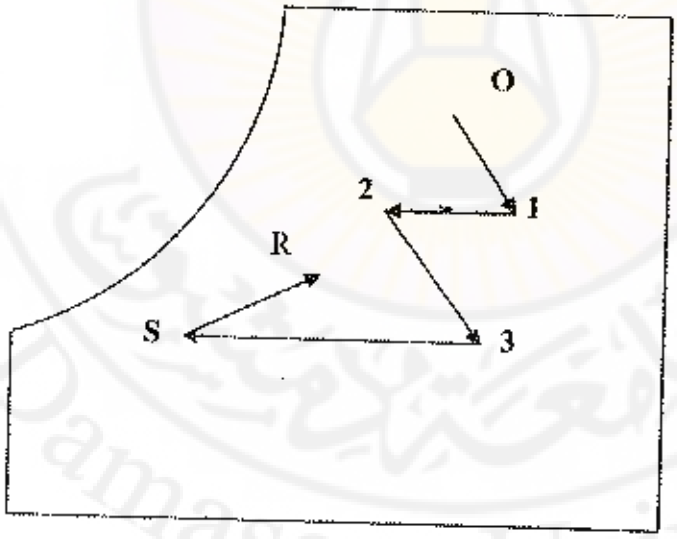
إن إزالة الرطوبة باستخدام وشائع التبريد يستلزم الوصول بالهواء إلى درجة حرارة أخفض من نقطة الندى، مما يجعل الرطوبة النسبية للهواء الخارج من وحدات المعالجة مرتفعة ويتطلب إعادة التسخين. وفي بعض الصناعات نحتاج إلى هواء ذو رطوبة نسبية منخفضة لذلك تستخدم مزيلات، حيث يمرر الهواء على مزيلات الرطوبة Descants و هي إما أن تكون من المواد الصلبة مثل سيلكا جيل أو من مواد سائلة مثل محاليل بروميد الليثيوم وكلوريد الليثيوم ثم استخدام تبريد لاحق لتحقيق الحالة المطلوبة للهواء، والمشكلة الرئيسية في استخدام مزيلات الرطوبة انه لابد من إعادة نزع الرطوبة منها باستخدام تيار هوائي ساخن آخر مغاير للهواء المعالج، وهذا يستلزم طاقة لنزعه و تسمى هذه العملية بإعادة توليد

كمية الرطوبة المزالة $$W = m_a \times (w_1 - w_2)$$

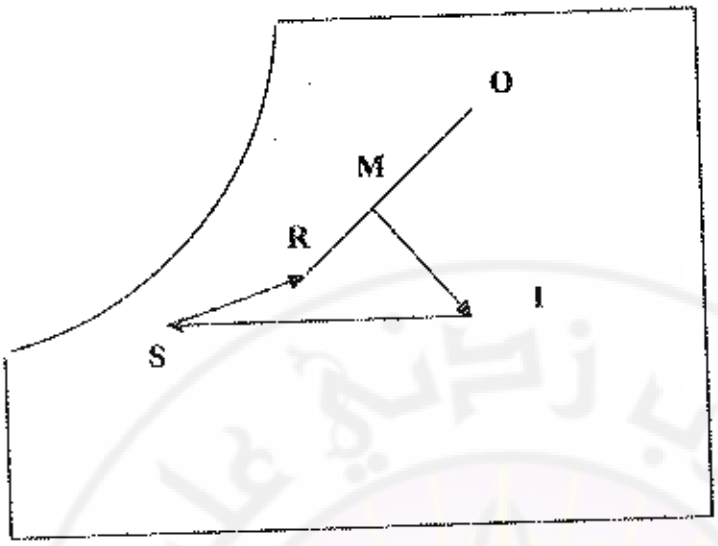
الطاقة الحرارية اللازمة لإعادة التوليد $$Q_w = m_a \times h_{fg}$$



عملية إزالة الرطوبة



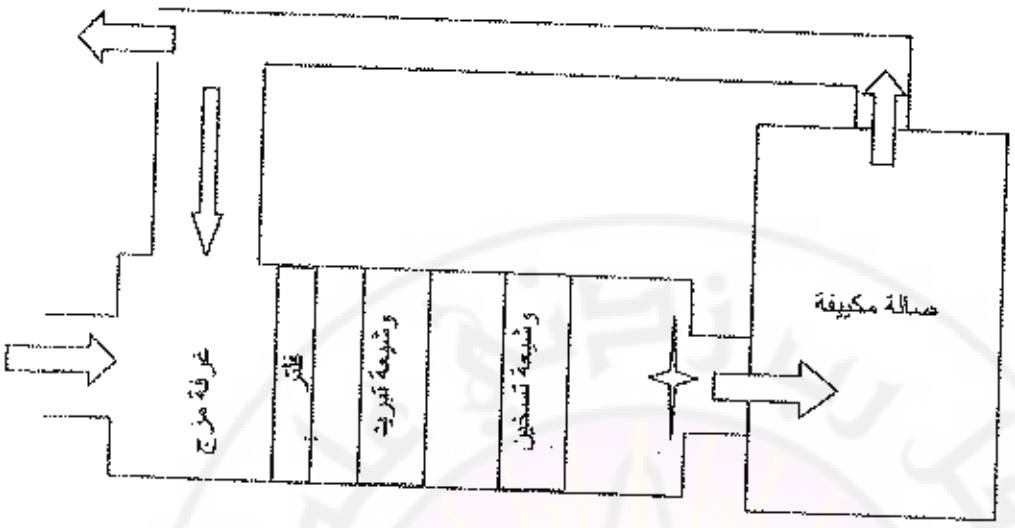
حالة جميع الهواء خارجي



حالة المزج بين الهواء الخارجي و الهواء المعاد ثم إزالة الرطوبة

مسألة ١:

وحدة إرسال هواء تتألف كما في الشكل من غرفة مزج يتم فيها مزج الهواء الخارجي مع الهواء الداخلي، ومن مصفاة للهواء، ومن وشيعة تبريد مع إزالة رطوبة وشيعة تسخين و من مروحة و مجار للهواء لإيصاله إلى المكان المكيف مع العلم أن حجم المكان المكيف هو ($100m^3$)، والربح المحسوس من المصادر الخارجية والإضاءة هو (15kW)، والربح الكامن من الأشخاص و المصادر الأخرى (5kW) يتواجد بالصالة 40 شخصا وسطيا ويحتاج كل شخص إلى $35m^3/h$. درجة الحرارة الداخلية المطلوبة 25 °C والرطوبة النسبية 50 % أما درجة الحرارة الخارجية 39 °C و الرطبة 30 °C و بفرض درجة حرارة تغذية الهواء أقل من درجة حرارة الغرفة بـ 7 °C درجات وأن درجة حرارة سطح وشيعة التبريد 11°C المطلوب:



١. تمثيل العملية على المخطط السايكومتر	٢. حساب تدفق الهواء اللازم
٣. حساب درجة حرارة مزيج الهواء	٤. حساب معامل الحرارة المحسوسة للغرفة
٥. تحديد درجة حرارة الهواء بعد وشيعة التبريد	٦. حساب استطاعة وشيعة التبريد
٧. حساب استطاعة وشيعة التسخين اللاحق	٨. حساب كمية الماء المتكاثف
٩. حساب معامل التحويل و فعالية وشيعة التبريد	

الحل:

تدفق هواء التغذية $m_S = \frac{Q_S}{C_s \times (T_R - T_S)} = \frac{15}{1.026 \times (25-18)} = 2.09\ kg/s$

التدفق الحجمي للهواء الجديد $V_o = 40 \times \frac{35}{3600} = 0.39\ m^3/s$

تدفق الهواء الجديد $m_o = \frac{V_o}{v_o} = \frac{0.39}{0.918} = 0.42\ kg/s$

تدفق الهواء الراجع $m_r = m_S - m_o = 2.085 - 0.42 = 1.67$

حساب درجة حرارة الهواء بعد المزج

$$\frac{m_0}{m_S} = \left(\frac{t_M - t_R}{t_o - t_R}\right) \Rightarrow t_M = t_R + \frac{m_0}{m_S} \times (t_o - t_K)$$

$$t_M = 25 + \frac{0.42}{2.09} \times (39 - 25) = 27.8\ ^\circ C$$

حساب نسبة الرطوبة لهواء التغذية و ذلك من معرفة الربح الكامن أو من كمية الرطوبة للغرفة:

$$m_S = \frac{Q_L}{lw \times (w_R - w_S)} \Rightarrow$$

$$w_S = w_R - \frac{Q_L / lw}{m_S} = w_R - \frac{5/2454}{2.09}$$

$$w_i = w_S = 0.010 - 0.000975 = 0.009\ kg/kg_{dryair}$$

معامل الحرارة المحسوسة $$RRL = \frac{Q_S}{Q_L + Q_S} = \frac{15}{15+5} = 0.75$$

استطاعة وشيعة التبريد

يلزمنا لذلك تحديد قيمة الانتالبي للنقطة M و 1 من المخطط السايكومتري

$$Q_C = m_S \times (h_M - h_i) = 2.09 \times (61.5 - 39) = 47.025\ kW$$

استطاعة وشيعة التسخين

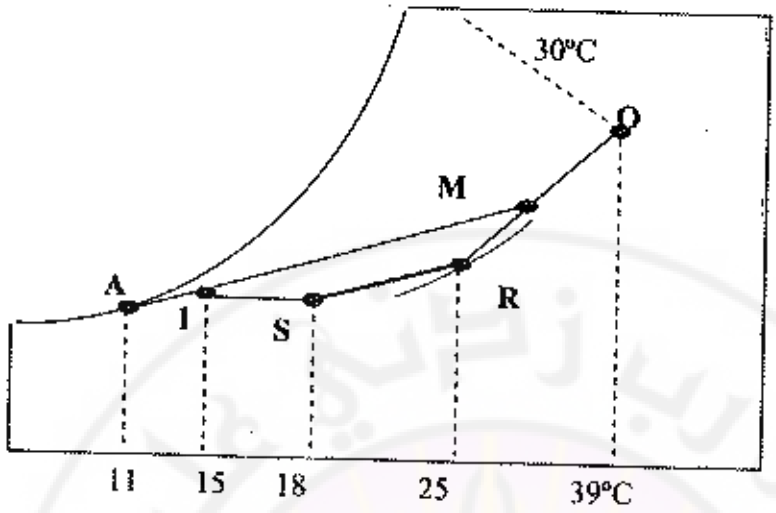
$$Q_h = m_S \times (h_S - h_i) = 2.09 \times (41 - 39) = 4.18\ kW$$

كمية الماء المتكاثف:

$$W = m_S \times (w_M - w_i) = 2.09 \times (0.0128 - 0.009) \approx 0.0079\ kg/s$$

معامل التحويل للوشيعة: $$B.F = \frac{t_i - t_A}{t_M - t_A} = \frac{15-11}{29-11} = 0.22$$

فعالية وشيعة التبريد $$\varepsilon = 1 - B.F = 1 - 0.22 = 0.78$$



مسألة- ٢ :

يراد تكييف صالة شتاء حملها الحراري 24.8 kW بوحدة تكييف تتألف من وشيعتي تسخين ومرطبة أديباتيه ومروحة لإرسال الهواء حيث يمزج الهواء الخارجي بتدفق 1 kg/s وبدرجة حرارة 10 °C ونسبة رطوبتة 0.006 kg/kg مع تيار من الهواء الداخلي تدفقه 2 kg/s مع العلم أن الدرجة المطلوبة داخل الصالة 22°C والرطوبة النسبية 50% . درجة حرارة دخول الماء الساخن إلى الوشائع 90°C والخروج 70°C. والسعة الحرارية للماء $C_w = 4.18\ kJ/kg.°C$ والمطلوب:

١. مثل العملية على المخطط السايكومتري واحسب درجة حرارة مزيج الهواء

٢. احسب درجة حرارة هواء التغذية T_S

٣. احسب استطاعة و شيعة التسخين الأولية إذا علمت أن درجة الحرارة بعدها تساوي 28°C

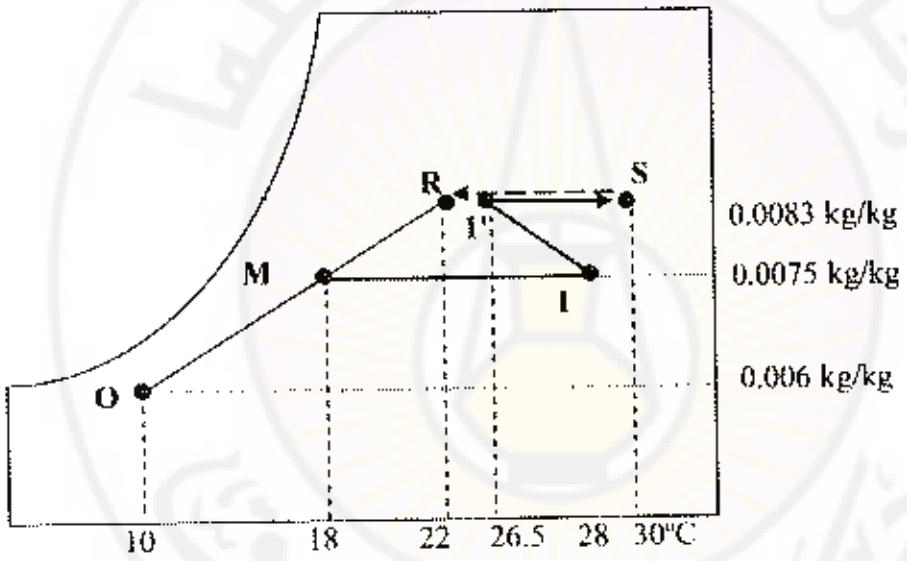
٤. احسب استطاعة وشيعة التسخين الثانوية وتدفق الماء الساخن في الوشيعتين

٥. احسب استطاعة المرطبة اللازمة

الحل:

$$\frac{m_0}{m_S}=\left(\frac{t_R-t_M}{t_R-t_o}\right)\Rightarrow t_M=t_R-\frac{m_0}{m_S}\times\left(t_R-t_o\right)$$

$$t_M=t_R-\frac{m_0}{m_S}\times\left(t_R-t_o\right)=22-\frac{1}{3}(22-10)=18°C$$



$$m_S=m_0+m_R=1+2=3\ \ kg/s$$

$$m_S=\frac{Q_S}{C_a\times\left(t_S-t_R\right)}\Rightarrow 3=\frac{24.8}{1.026\times(t_S-22)}\Rightarrow t_S\approx 30°C$$

$$Q_{b1}=m_s\times C_a\times\left(t_1-t_M\right)=3\times1.026\times(28-18)=30.78\ \ kW$$

$$Q_{b2}=m_s\times C_a\times\left(t_S-t_1\right)=3\times1.026\times(30-26.5)\approx10.773\ \ kW$$

$$W = m_s \times (w_s - w_1) = 3 \times (0.0083 - 0.0075) = 0.0024 \ kg/s$$

$$Q_{b1} = m_{wt} \times C_w \times (t_2 - t_1) \Rightarrow$$

$$m_{wt} = \frac{30.78}{4.18 \times (90 - 70)} \approx 0.37 \ kg/s$$

$$Q_{b2} = m_{w2} \times C_w \times (t_1 - t_2) \Rightarrow$$

$$m_{w2} = \frac{10.773}{4.18 \times (90 - 70)} \approx 0.13 \ kg/s$$

Damascus University

الفصل التاسع عشر
تنقية الهواء
AIR CLEANING

الهواء الجوي معرض للتلوث بالأتربة، الميكروبات، الجراثيم، الدخان، الغازات الضارة والروائح الكريهة.

تكييف الهواء يتضمن كما أصبح معلوماً التحكم في درجة حرارة الهواء، رطوبته، تدفقه ونقاوته. ويقصد بالتحكم في نقاوة الهواء العمل على خفض أو حجز الجسيمات غير المرغوبة وامتصاص الغازات الضارة قبل دخول الهواء إلى الأماكن المكيفة. إن استخدام المرشحات (Filters) يعمل على تنقية الهواء من الأتربة العالقة التي تؤثر على المفروشات والأثاث. كما تعمل المرشحات على تنقية الهواء من البكتيريا وحبوب اللقاح التي تنقل الأمراض وتسبب الحساسية. تتخلص أكفأ أنظمة تكييف الهواء من 75% إلى 95% من الجسيمات الملوثة والعالقة بالهواء.

١٩-١ تلوث الهواء :

يمكن أن يكون تلوث الهواء على هيئة:

أ - مواد صلبة مثل:

- الغبار (Dust) والرمال (Sand) الذي ينشأ عن الرياح وتتراوح أقطارها بين 0.001 ميكرون و 30 ميكرون.
- الدخان الذي ينشأ عن العمليات الكيميائية والصناعية وأقطارها حوالي ميكرون واحد.

- الدخان الذي ينشأ عن الاحتراق غير الكامل وتتراوح أقطار جسيماتها بين 0.01 ميكرون و 13 ميكرونا.

ب - مواد سائلة مثل:

- الرذاذ نتيجة عمليات الرش والترذيذ.
- الضباب نتيجة عمليات تكثيف بخار الماء.

ج - مواد غازية وأبخرة:

مصادر تلوث الهواء بعضها داخلي والآخر خارجي.

المصادر الداخلية هي:

أ - الغازات والروائح الناتجة عن العمليات الصناعية.

ب - الدخان الناتج عن عمليات الاحتراق، التدخين و الطهي.

ج - الزغب الناتجة عن عمليات الغزل والنسيج.

المصادر الخارجية هي:

أ - الأتربة والرمال العالقة بالجو.

ب - ذرات حبوب اللقاح للنباتات.

المرشحات المستخدمة مع أجهزة تكييف الهواء يجب أن تعمل على حجز جسيمات تتراوح أقطارها بين 0.01 ميكرون و 200 ميكرون.

يلاحظ أن الجسيمات العالقة بالهواء الجوي تكون كبيرة بالأماكن الصناعية، متوسطة بالأماكن المزدحمة بالسكان ودقيقة بالأماكن الريفية. يعطي الجدول التالي تركيز الجسيمات الصلبة للمناطق المختلفة.

المكان	تركيز الجسيمات (mg/m3)
مناطق ريفية	5 - 0.5
مناطق سكنية	1- 0.1
أماكن سكنية صناعية	5 - 0.2
مصانع وورش	1 - 0.5

٢-١٩ طرق تنقية الهواء :

تختلف طرق تنقية الهواء تبعاً لنوعية المواد العالقة في الهواء.

للتخلص من المواد الصلبة العالقة نستخدم:

أ - قوة الطرد المركزي لفصل الجسيمات الكبيرة.

ب - غسل الهواء لفصل الجسيمات القابلة للبلل.

ج - سنائر لحجز الجسيمات الكبيرة.

د - مواد لاصقة لحجز الأتربة.

هـ - الخاصية الإلكتروستاتيكية لشحن ذرات الأتربة كهربيا ثم جذبها إلى أسطح ذات شحنة مخالفة للذرات.

للتخلص من السوائل نستخدم:

أ - السوائل الماصة.

ب - غرف الترسيب.

للتخلص من الغازات و الأبخرة نستخدم:

أ ـ عمليات التكثيف للأبخرة.

ب ـ التفاعل الكيميائي للغازات.

ج ـ عمليات التخفيف للغازات

١٩ـ٣ أنواع المرشحات :

يمكن تصنيف المرشحات المستخدمة في مجال تكييف الهواء إلى أربعة أنواع رئيسية:

أ ـ مرشحات جافة

ب ـ مرشحات لزجة

ج ـ مرشحات الكتروستاتيكية

د ـ غسالات الهواء

تعرف المرشحات الجافة واللزجة بالمرشحات التقليدية.

١٩ـ٣ـ١ المرشحات الجافة :

المرشح الجاف عبارة عن مادة مثل السليولوز، الاسبستس، الورق المسامي المعالج، القماش، الصوف الزجاجي أو خيوط القطن، مجمعة في إطار معدني عند مرور الهواء خلال وسائط الترشيح، تتعلق ذرات الأتربة بمادة الترشيح وبالتالي يصبح الهواء الخارج من المرشح خالياً من الأتربة وذرات الرمال.

يؤثر على أداء المرشحات أقطار الألياف، سمك المرشح ونسبة مساحة أسطح الترشيح إلى مساحة واجهة المرشح

يمكن تصنيف المرشحات الجافة إلى:

أ ـ مرشحات ثابتة يتم تغييرها عند اتساخها.

ب ـ مرشحات متحركة على هيئة شريط يتحرك ببطء بواسطة بكرتين. عند اتساخ الشريط يتم تغييره بشريط آخر جديد.

يمكن تصنيف المرشحات الجافة إلى ثلاث درجات وهي:

(A) وتستخدم مادة السليولوز لترشيح الأتربة الكبيرة ذات الأقطار الأكبر من 7 ميكرون.

(B) وتستخدم الألياف الصناعية لترشيح الأتربة المتوسطة ذات الأقطار الأقل من 7 ميكرون والأكبر من 0.7 ميكرون.

(C) وتستخدم الألياف الزجاجية لترشيح الأتربة الدقيقة ذات الأقطار الأقل من 0.7 ميكرون.

تتراوح كفاءة المرشحات الجافة بين 84% و 95% تنتج الشركات المرشحات الجافة بأبعاد قياسية كما يلي :

١- 125 cm × 62.5 cm

٢- 50 cm × 50 cm

٣- 62.5 cm × 40 cm

٤- 50 cm × 25 cm

وبسماكة (25 mm ، 50 mm و 100 mm)

٢-٣-١٩ المرشح (الفلتر) الدقيق :

المرشح الدقيق 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 على ذرات ذات أقطار 0.3 ميكرون. 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. يعمل المرشح الأولي على المحافظة على المرشح الدقيق من الاتساخ بسرعة وبالتالي زيادة فترة تشغيله وعمره الافتراضي.

١٩-٣-٣ المرشحات اللزجة :

تعتمد نظرية المرشحات اللزجة على استعمال مادة لزجة تعمل على حجز الأتربة والميكروبات. يتكون 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 ـ مرشحات قابلة للغسيل

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

ب ـ مرشحات قابلة للتغير

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

ج ـ مرشحات ذاتية التنظيف

تعتمد نظرية هذه المرشحات على استخدام ستارة دائرية من الريش المحملة بمادة لزجة، يتم إدارة هذه الستارة بواسطة مسننين ومحرك. 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. يجب تجديد المادة اللزجة المتجمعة في قاع الحوض عندما تصبح المادة اللزجة على هيئة طينية.

المرشحات اللزجة مناسبة في حالة تركيزات كبيرة للمواد العالقة.

١٩ـ٣ـ٤ <u>مرشحات إلكترونية</u> :

تعرف المرشحات الإلكترونية بالمترسبات وتصنف إلى نوعين: النوع المتأين والنوع ذو الأوساط المشحونة

تعتمد نظرية المرشحات الإلكترونية على شحن جزيئات المواد العالقة بشحنة كهروستاتيكية ثم جذبها إلى ألواح تجميع ذات شحنة كهربائية مخالفة لجزيئات المواد العالقة.

يتكون المرشح الإلكتروني من شبكتين مشحونتين بشحنة كهرواستاتيكية، من جهد عال يتراوح بين 11 ألف و 13 ألف فولت، كافية لجذب أية ذرة من الأتربة أو الميكروبات. تجهز المرشحات إلكترونية بأجهزة لفصل التيار عنها قبل الكشف

عليها حتى لا تسبب أخطارا لمن يلمسها. تتراوح كفاءة المرشحات الإلكترونية بين 70% و90%. عادة يستخدم مرشح جاف مع المرشحات الإلكترونية وذلك للتخلص من الجسيمات الكبيرة.

يتراوح استهلاك الطاقة للمرشحات الإلكترونية بين 240W/m3/s و 300 W/m3/s وات لكل متر مكعب/ثانية من الهواء.

حالياً تستخدم المرشحات الإلكترونية بدلاً من المرشحات الجافة الدقيقة ذات الكفاءة العالية للتخلص من الجسيمات ذات الأقطار الأقل من الميكرون.

يمكن تركيب المرشحات الإلكترونية بهدف تعقيم الهواء عن طريق قتل الميكروبات والجراثيم التي يحملها الهواء علاوة على تنقيته.

١٩-٤ تنقية الهواء بواسطة الغسالات الهوائية :

تستخدم غسالات الهواء مع أنظمة تكييف الهواء الكبيرة للترطيب شتاءً وإزالة الرطوبة صيفا علاوة على تنقية الهواء من جسيمات الأتربة الكبيرة والقابلة للبلل.

١٩-٥ تصنيف غسالات تنقية الهواء

تقسم إلى نوعين:

النوع الأول :

يعمل إلى غسل الهواء مباشرة باستخدام رشاشات المياه فقط.

النوع الثاني :

يستخدم فلتر يعمل على تنقية الهواء الذي يمر خلاله علاوة على رشاشات المياه التي تعمل على تنظيف الفلتر باستمرار.

٦-١٩ معيار أداء المرشحات :

يمكن بيان أداء المرشحات بدلالة كل من: كفاءة المرشح، مقاومة الهواء خلال المرشح وفترة تشغيل المرشح ،عدد ساعات العمل .

أ - كفاءة المرشح

تعبر كفاءة المرشح عن قدرته على حجز الأتربة من الهواء. المعادلة الرياضية لكفاءة المرشح هي:

$$\eta = \frac{C_1 - C_2}{C_1}$$

حيث:

C1 عبارة عن نسبة تركيز الأتربة قبل المرشح.

C2 عبارة عن نسبة تركيز الأتربة بعد المرشح.

تتوقف كفاءة المرشح على قطر جسيمات الأتربة وعددها لوحدة الحجم للهواء. تؤثر على كفاءة المرشح العوامل التالية: سرعة الهواء خلال المرشح، نسبة تركيز الأتربة، حجم الجسيمات، شكلها، قطرها، ثقلها النوعي وخواصها الطبيعية والكيميائية.

ب - المقاومة

مقاومة المرشح عبارة عن انخفاض الضغط الاستاتيكي خلال المرشح بالوحدات (Pa).

عند تصميم أنظمة تكييف الهواء يجب ألا يزيد فرق الضغط خلال المرشح عن 0.25 من فرق الضغط خلال المروحة. يعطي الجدول التالي فرق الضغط للمرشحات النظيفة الجديدة وفرق الضغط الذي يتوجب عنده التبديل .

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

ملاحظ أن حجز الأتربة يعمل على:

- زيادة فرق الضغط خلال المرشح.
- لو زاد فرق الضغط عن الحد المسموح به او قلت كفاءة المرشح أو انخفض معدل تدفق الهواء بحوالي 10% أو ازداد فرق الضغط خلال المرشح إلى ثلاثة أضعاف فرق الضغط الأولي يجب تغيير المرشح.

١٩-٧ اختيار المرشحات

عند اختيار المرشحات يجب أن نوازن بين متطلبات عملية الترشيح وتكاليف التشغيل.

١٩-٧-١ أسس اختيار المرشحات هي:

أ - حجم الأتربة، نوعيتها وكثافتها.

ب - نوع عملية التكييف، درجة النقاوة، ونسبة تركيز الأتربة

ج - طريقة تنظيف المرشحات بعد انسدادها بالأتربة.

د - كفاءة المرشحات المطلوبة.

هـ - عدد ساعات تشغيل المرشح.

عنصر المقارنة	جاف	لزج	إلكتروني
الكفاءة	عالية	منخفضة	عالية جدا
التكلفة	عالية	بسيطة	بسيطة
فرق الضغط	كبير	كبير	صغير
العمر الافتراضي	صغير	متوسط	طويل

يعطي الجدول التالي بعض خواص المرشحات الخاص

نوع المرشح	التنقية	سرعة الهواء (m/s)	المقاومة N/m^2		التكلفة
			الابتدائية	النهائية	
جافة	-	2.5-1.25	25	250	بسيطة
ثابتة	ألي	2.5	30	175	متوسطة
لزجة	غسيل	2.5-1.5	20	150	بسيطة
ثابتة	ألي	2.5-25	30	125	متوسطة
إلكترونية	غسيل	2.5-1.5	40	125	كبيرة

يعطي الجدول التالي سرعة واجهة المرشح (Face Velocity) فرق الضغط الابتدائي

نوع المرشح	سرعة الهواء (m/s)	مقاومة الهواء (N/m^2)
جاف		
قابل للتنظيف (٥سم)	0.3	30-20
قابل للتجديد (٢٠سم)	0.15	35-30
كفاءة عالية		
قابلة للتجديد	0.1	300-125

لزج مستهلك (٥سم)	1.5	30-15
قابل للتجديد (١٠ مم)	1.5	60-30
قابل للتنظيف (٢٠سم)	2.5-1.5	30-10
تنظيف ذاتي آلي	2.5	125-75
الكتروني		
ألواح متاينة	2-1.5	75-37.5
آلي التاين	2.5-2	80-50
وسط مشحون	0.18	30-7.5

يتم تنظيف المرشحات بوساطة نافورة هوائية، مائية أو بخارية كما يمكن غسل المرشحات بالزيت أو الكيروسين. يفضل غسل المرشحات بالزيت لأنه يضيف طبقة لزجة للمرشحات. يوضع المرشح عادة على جانب السحب للمروحة قبل وشيعة التبريد وإزالة الرطوبة. ويفضل وضع المرشح بعد المروحة إذا كان من النوع ذي الكفاءة العالية.

٨-١٩ تعقيم الهواء

يمكن تعقيم الهواء وقتل البكتيريا باستخدام:

أ - مصابيح الأشعة فوق البنفسجية

تنتج الأشعة فوق البنفسجية غاز الأوزون الذي يمكنه القضاء على البكتيريا. اللمبة ذات الطاقة 14000 ميكروواط يمكنها القضاء على معظم البكتيريا خلال جزء من الثانية.

ب - رش الهواء بمحلول ثلاثي أثيلين الجليكول يقضي على البكتيريا في الهواء.

٩-١٩ امتصاص الروائح

يمكن امتصاص الروائح من الهواء، باستخدام مادة الكربون النشط (Activated charcoal) المصنع من نواتج تكرير البترول أو من قشرة جوز الهند أو من أكسيد الألومنيوم النشطة مع برمنغانات البوتاسيوم .

يمكن المرشح الكربوني امتصاص حوالي 50% من وزنه. يمكن التخلص من الروائح باستخدام غاز الأوزون في حدود $0.7\ mg/m^3$ ملغ لكل متر مكعب من الهواء. يمكن التخلص من الروائح عن طريق أكسدتها بالأشعة فوق البنفسجية، تفاعلها كيميائيا، امتصاصها بواسطة السوائل أو تخفيفها بالهواء.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل العشرون
التحكم في أنظمة التدفئة والتكييف والتهوية
Control of Heating ,Air-conditioning and Ventilating Systems

يتم حساب الاستطاعة اللازمة لأي نظام تدفئة و تكييف على أساس أسوأ الظروف التصميمية، وهذه الشروط التصميمية لا تمتد لفترات طويلة خلال عمل نظام التكييف. لذا تعمل هذه الأجهزة في أغلب فترات عملها عند حمل جزئي . و هنا يأتي دور نظام التحكم الذي يقوم بتنظيم هذه الاستطاعة كي توافق الحمل المطلوب للمكان المراد تدفئته أو تكييفه و تحقيق الراحة والاقتصاد في عمل مجموعة التدفئة و التكييف .

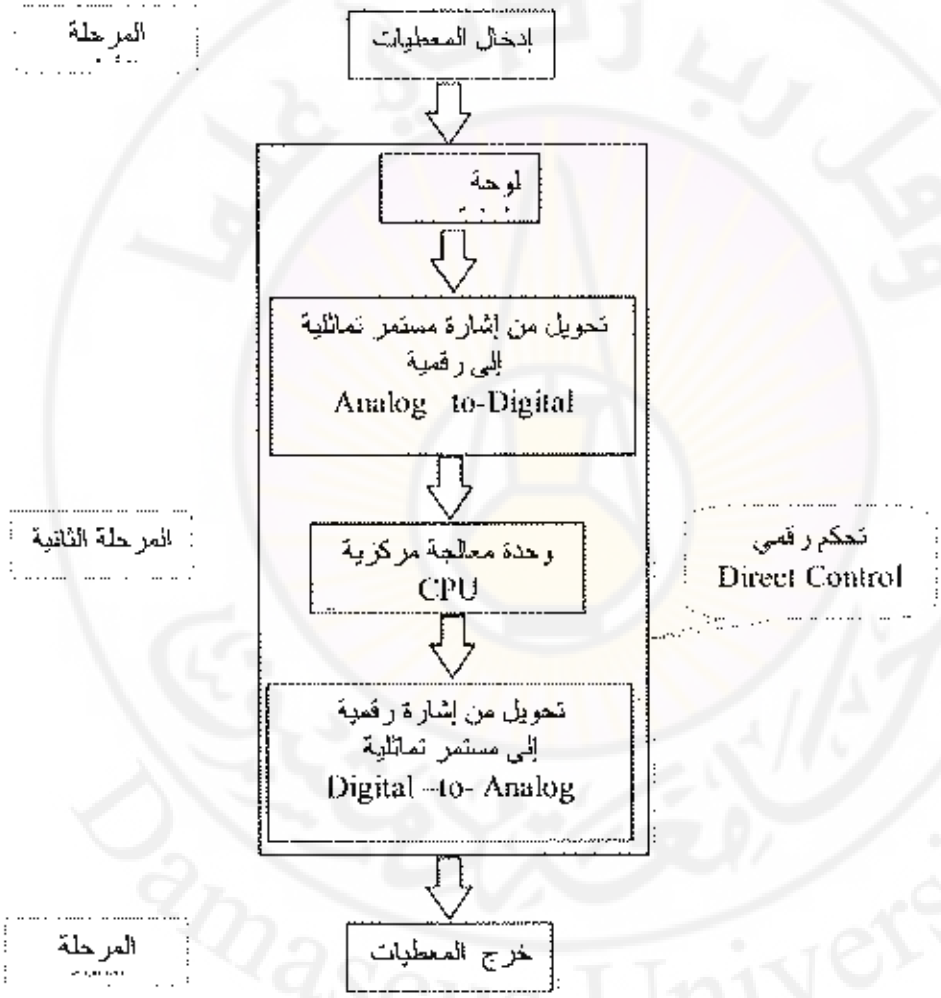
هناك تغيرات كبيرة حدثت في حقل التحكم الآلي في أنظمة التدفئة و التهوية و التكييف للأبنية. إن التحكم العصري أصبح يتألف من هجين من المنتجات الكهربائية و الإلكترونية و الميكانيكية، ويجب على الدارس أن يفهم عملها و يتآلف معها.

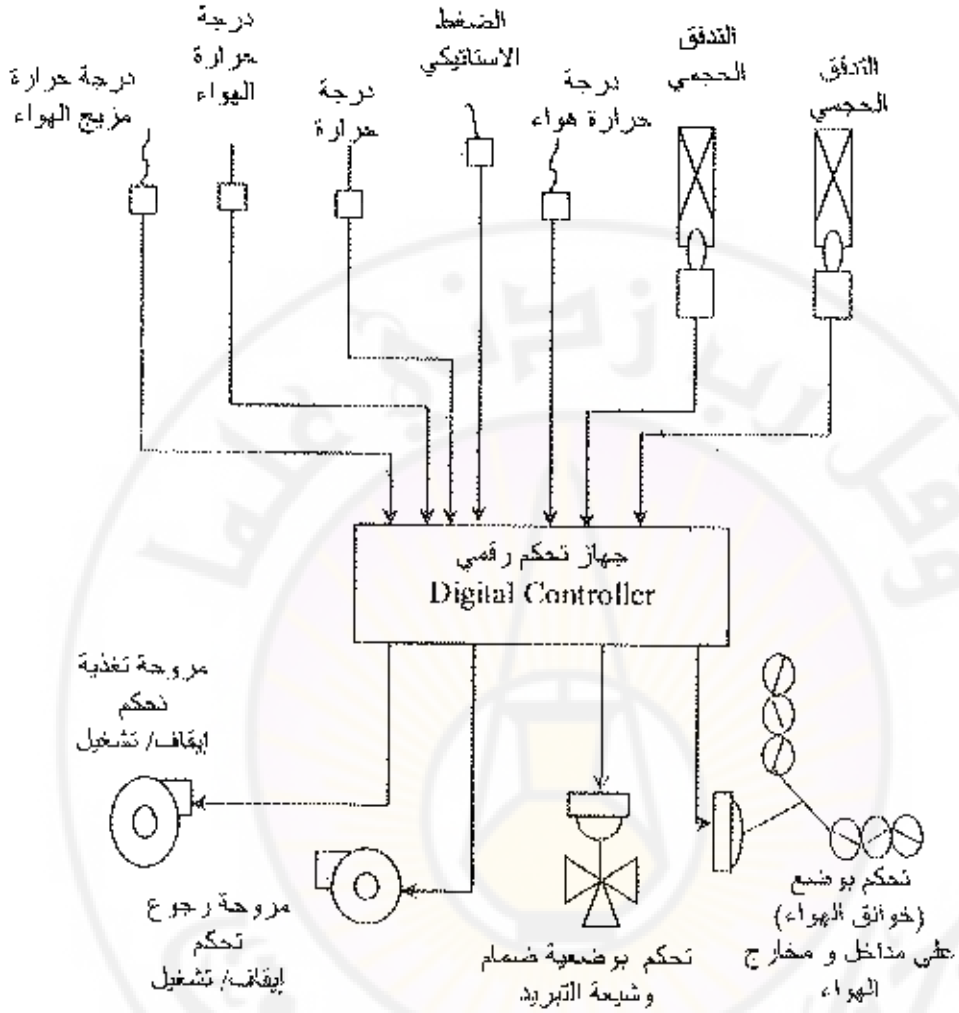
التحكم الآلي: يعني إمكانية النظام لتصحيح نفسه (تصحيح إشارة الخرج) إلى الجهاز المتحكم وذلك استجابة للمتغيرات الطارئة على الإشارة القادمة من الحساس.

٢٠-١ التحكم الرقمي المباشر :

هو عملية تحكم تتم عن طريق معالجات صغيرة تتحكم بشكل دائم بالمعطيات القادمة من البيئة المتحكم بها، وهو مشابه لما يتم في التحكم التقليدي. باستثناء أن معالجة المعطيات الرقمية تعطي سرعة فائقة ودقة أكبر في استجابة نظام التحكم تحت كل الظروف و في كل الأوقات.

في الحقيقة الفارق بين التحكم التقليدي و التحكم الرقمي يكمن في أن التحكم التقليدي يتحكم في حلقة واحدة أو متحول واحد فقط في حين التحكم الرقمي يتحكم في عدة حلقات أو دارات بأن واحد. وله ميزة أيضا تكمن في إمكانية ملاءمة نفسه مع المتغيرات في شروط البيئة المتحكم بها، وذلك بتعديل متحولات البرنامج نفسه استجابة للتغيرات في ظروف البيئة المتحكم بها.





تحكم رقمي متعدد الحلقات

٢٠-٢ مصطلحات في التحكم:

إن نظرية التحكم تهتم بالطريقة التي تتفاعل فيها مكونات أي نظام مع بعضها لتعمل كوحدة متماسكة .

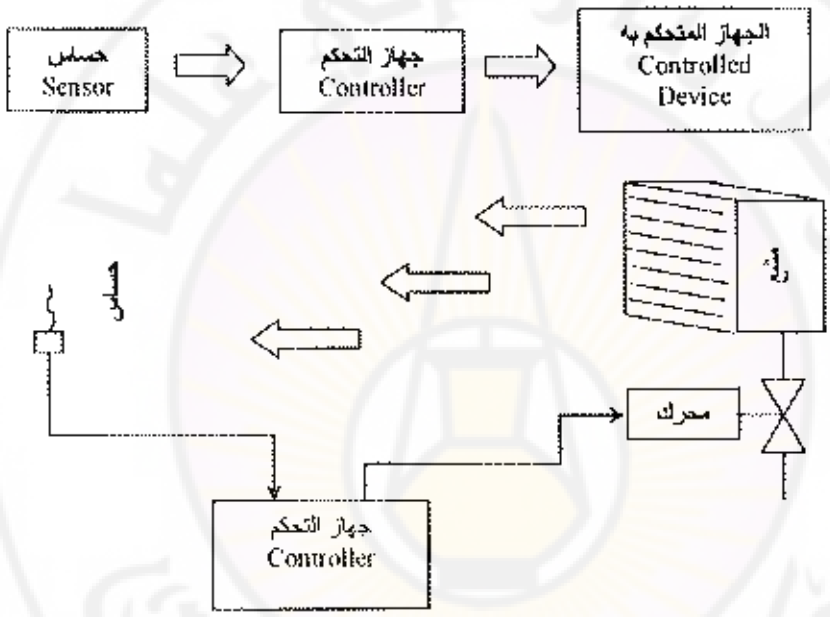
ويتألف نظام التحكم من ثلاثة عناصر أساسية و هي:

١- الحساسات

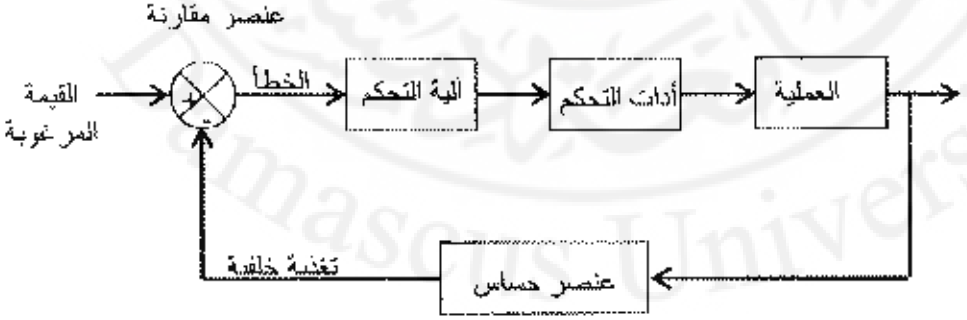
٢- جهاز التحكم

٣- أداة التحكم

كما موضح بالشكل التالي:



دارة تحكم مغلقة



دارة تحكم مغلقة

٢٠-٣ الأهداف الأساسية لأنظمة التحكم:

تودي أنظمة التحكم الأعمال التالية:

أ ـ اكتشاف العناصر الحساسة للتغيرات في درجة الحرارة، الرطوبة النسبية أو ضغط الهواء وإعطاء إشارات لآلية التحكم.

ب ـ قيام آلية التحكم (Controller) بتحويل التغيرات إلى طاقة يمكن أن تستخدمها معدات التحكم.

ج ـ نقل الطاقة بوساطة الأسلاك أو الأنابيب التي تعمل بالهواء المضغوط إلى معدات التحكم.

د ـ استخدام معدات التحكم للطاقة لتصحيح أدائها عن طريق تشغيل محركات الضواغط، المراوح أو تشغيل خوانق وصمامات التحكم في معدل تدفق الموائع المستخدمة.

هـ ـ اكتشاف العناصر الحساسة للتغيرات في الحالة المقاسة وإعطاء إشارات لآلية التحكم.

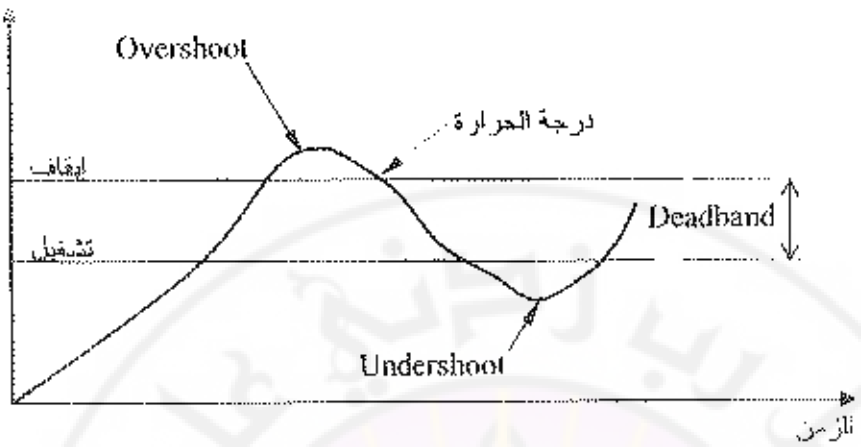
و ـ قيام معدات التحكم بإيقاف المحركات وقفل الصمامات وإنهاء فعل الوحدة المستخدمة.

٢٠-٤ أنواع التحكم :

يقسم التحكم إلى خمسة أنواع:

١. التحكم بوضعيتين (إيقاف – تشغيل) (On Off)

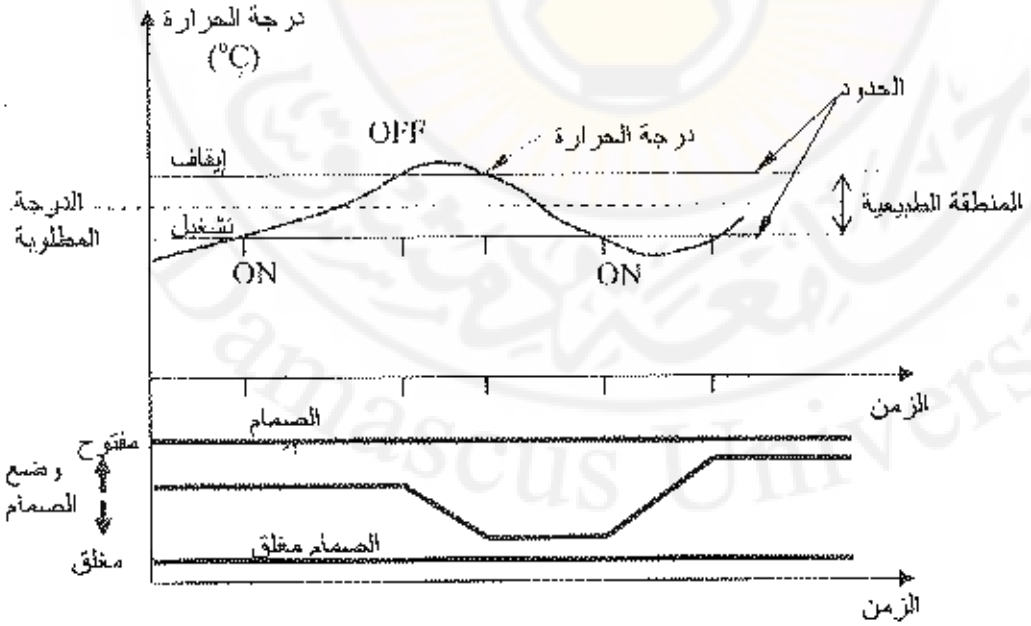
يسمح نظام تحكم بموضعين، لعنصر التحكم النهائي (المحرك أو الصمام) باخذ وضع من وضعيتين: قفل كامل أو فتح كامل للصمام وتشغيل أو إيقاف محرك



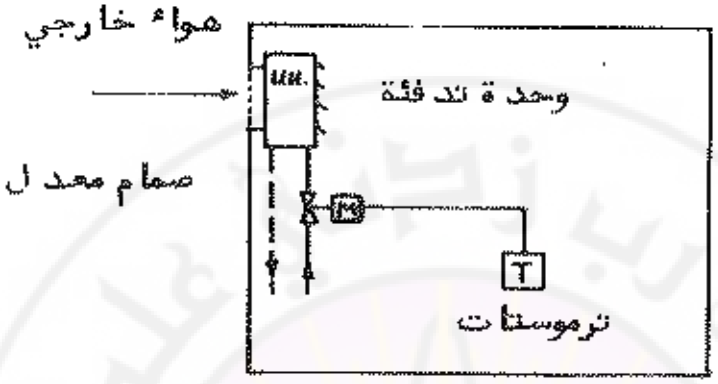
دارة تحكم إيقاف - تشغيل

٢. التحكم العائم Floating Control

يسمح التحكم العائم لوسيلة التحكم بالحركة إلى أي وضع والعودة بدون الحاجة لإتمام الدورة و الوصل لنهاية الشوط. يمثل الشكل نظام تحكم عائم



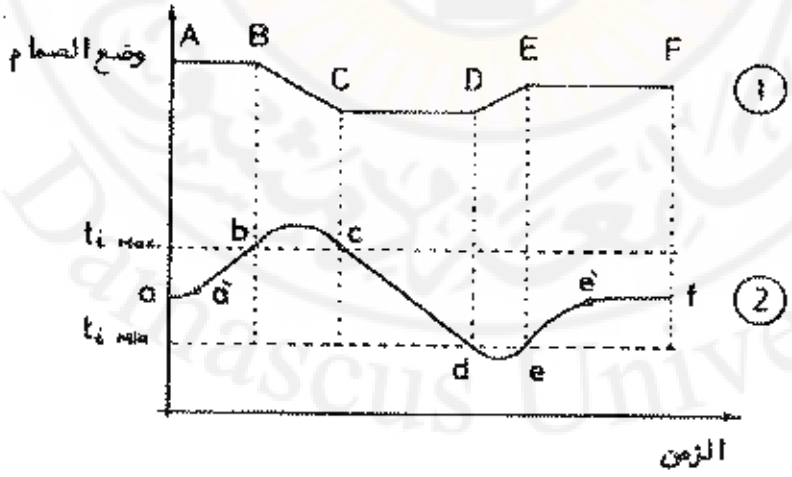
ويدعى بهذا الاسم لأن عنصر التحكم النهائي (الصمام) يعوم في وضع معين ما دام المتغير (درجة الحرارة) محصوراً بين حدين معينين :



غرفة مدفأة

و سنوضح ذلك بالمخطط البياني التالي :

عندما يكون حمل الغرفة ثابتاً أي أن الضياع الحراري من الغرفة ثابتٌ يكون الصمام في وضع معين ممثلا بالخط AB، و ذلك عندما تكون درجة حرارة الغرفة واقعة بين الحد الأعلى و الحد الأدنى كما هو مبين في الخط $a\acute{a}$.



في هذه الحالة تكون استطاعة وشيعة التسخين موافقة للحمل الحراري للغرفة، فلو فرض حدوث ارتفاع في درجة حرارة الهواء الخارجي مع بقاء فتحة الصمام على حالها أي ثبات معدل تدفق الماء إلى الوشيعة فعند ذلك تبدأ درجة حرارة هواء التغذية بالارتفاع كما مبين بالخط $a'b$.

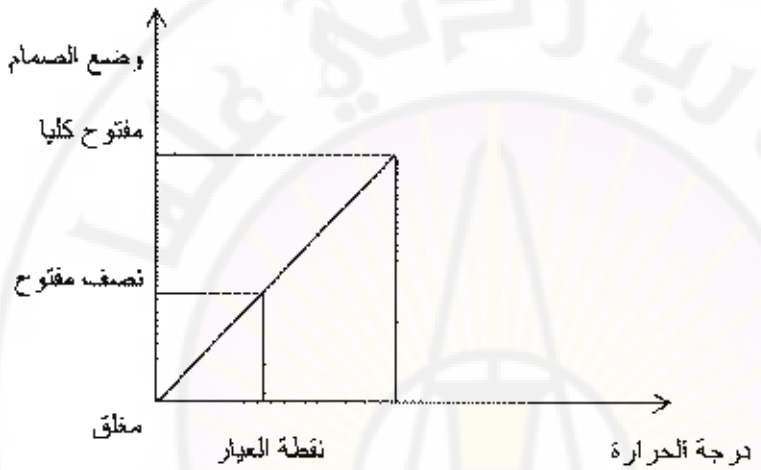
عند ارتفاع درجة حرارة هواء التغذية إلى الحد الأعلى الممثل بالنقطة b يبدأ الصمام بالإغلاق كما هو مبين بالخط BC من الخط (1) و في هذه الأثناء ترتفع درجة حرارة هواء التغذية قليلا بسبب التأخير و من ثم تعود لتهبط كما هو ممثل بالخط (bc) من الخط (2) . و عند وصول درجة الحرارة إلى الحد الأعلى عند النقطة (c) تتوقف حركة الصمام عن الإغلاق و يأخذ الصمام وضعاً معيناً ممثلاً بالنقطة (c) في الخط (1) ويبقى الصمام بهذا الوضع ممثلا بالخط (cd) من الخط رقم (1) .

فلو فرض أن فتحة الصمام هذه صغيرة بحيث أن استطاعة الوشيعة اقل من الحمل الحراري للغرفة فعند ذلك تستمر درجة حرارة هواء التغذية بالانخفاض حتى الوصول إلى النقطة d أي الحد الأدنى .

عند هذه النقطة يبدأ الصمام بالفتح بحسب الخط (de) رقم (1) وبذلك يزداد معدل تدفق الماء، وترتفع درجة حرارة هواء التغذية من e إلى e' خط رقم (2) وتستمر درجة حرارة هواء الغرفة ثابتة من e' إلى f ما لم يحدث تغير بدرجة الحرارة الخارجية . استعمالات هذا النوع من التحكم قليلة و محدودة، والسبب الرئيسي لذلك هو استعداد الصمام للفتح والإغلاق بفترات متكررة بسبب التغيرات المتعددة في الحمل الحراري، وقد يكون هذا ناجحا في أول الأمر و لكن بعد مضي فترة على الاستعمال تنخفض دقة وتجاوبه عمل الصمام .

3.التحكم التناسبي

في هذا النوع من التحكم يأخذ عنصر التحكم النهائي (الصمام) وضعاً متناسباً مع انحراف المتغير (درجة حرارة الغرفة) عن النقطة المحددة، أي أن هناك وضعاً معيناً واحداً فقط للصمام لكل قيمة من قيم المتغير. ولذلك فإن وضع الصمام عبارة عن تابع خطي مستمر لقيمة المتغير .



يظهر من الشكل أن المتغير يساوي نقطة العيار فقط عندما يكون الصمام نصف مفتوح، و أي زيادة أو نقص في المتغير يقابله زيادة أو نقص في فتحة الصمام .

ومن الممكن أن يقابل الزيادة بالمتغير زيادة أو نقص في فتحة الصمام بحسب التحكم المستعمل ووسيط التسخين و درجة حرارته .

يعطى التحكم التناسبي بالعلاقة التالية:

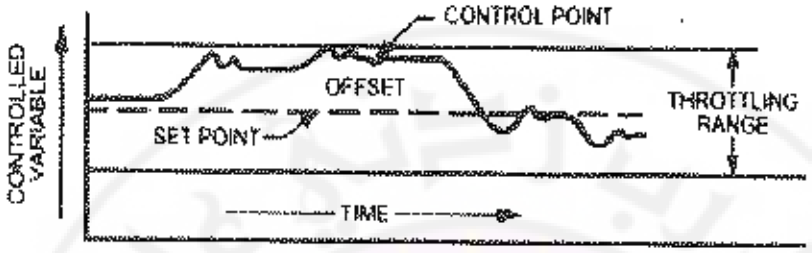
$$V_p = K_p \cdot e + V_0$$

V_p - خرج التحكم التناسبي

K_p - ثابت التناسب

e - الخطأ في الإشارة

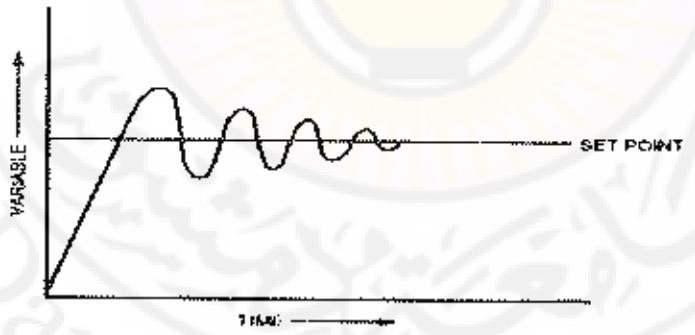
V_0 - ثابت



٤. التحكم التناسبي التكاملي:

إضافة عنصر التكامل يعمل على إلغاء الخطأ الدائم المصاحب للتحكم التناسبي الذي هو من طبيعة هذا التحكم أي إنه لكي يكون هناك خرج يجب أن يكون هناك خطأ

$$V_{pi} = K_p \cdot e + K_i \int e dt + V_0$$



٥. التحكم التناسبي التكاملي التفاضلي

إضافة الحد التفاضلي يعطي سرعة في الاستجابة للتحكم ولكن يصبح أكثر تأثرا بإشارات التشويش

$$V_{PID} = K_p \cdot e + K_I \int e \cdot dt + K_D \cdot \frac{de}{dt} + V_0$$

٦. التحكم **Fuzzy logic control**

و هو يقوم بدور المتحكم التقليدي .التحكم العائم او المبهم وأحيانا يسمى التحكم الغائم ، يستخدم هذا التحكم سلسلة من القوانين على هيئة شرط If- then (إذا تحقق شرط ما - اتخذ خرج التحكم يكون قيمة معلومة)

مثلاً:

١- إذا درجة حرارة الغرفة كانت مرتفعة ، ومعدل تغير درجة الحرارة في تناقص اتخذ قم بزيادة التبريد

٢- إذا كانت درجة حرارة الغرفة مرتفعة و معدل تغير درجة الحرارة في تزايد اتخذ قم بزيادة التبريد بمقدار كبير

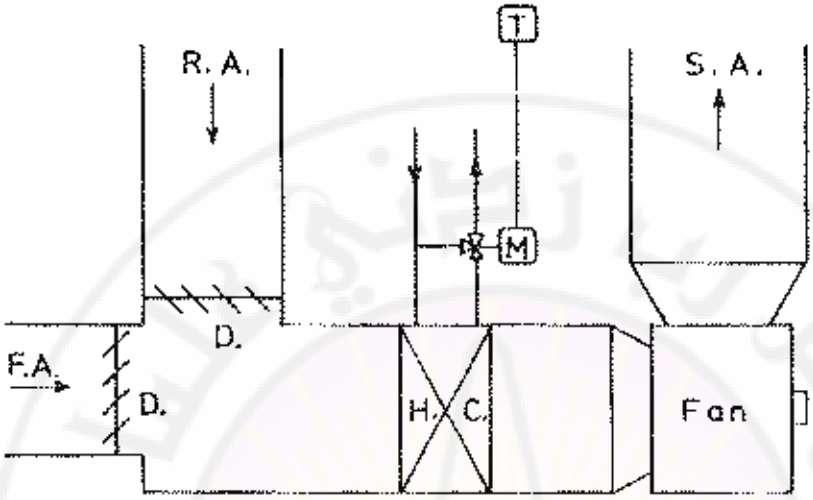
المصمم يجب أن يقوم بتحديد الشروط و من ثم يحدد المصطلحات اللغوية و في أي مجال عددي تقع (مرتفع - زيادة نقصان - ..... الخ) إن مفهوم الغائم يتحقق عند تداخل التوابع اللغوية مثلا 70% مرتفع مع 30% مقبول ففي مثل هذه الحالة عدة قوانين سوف تتحقق بالوقت نفسه وتتفاعل لتعطي الخرج المناسب كمحصلة لتأثير هذه القوانين مجتمعة مع بعضها البعض

٢٠-٥ نماذج لأنظمة تحكم في التدفئة و التكييف

٢٠-٥-١ حالة التحكم في التدفئة بالهواء الساخن مع الترطيب صيفا ، شتاء:

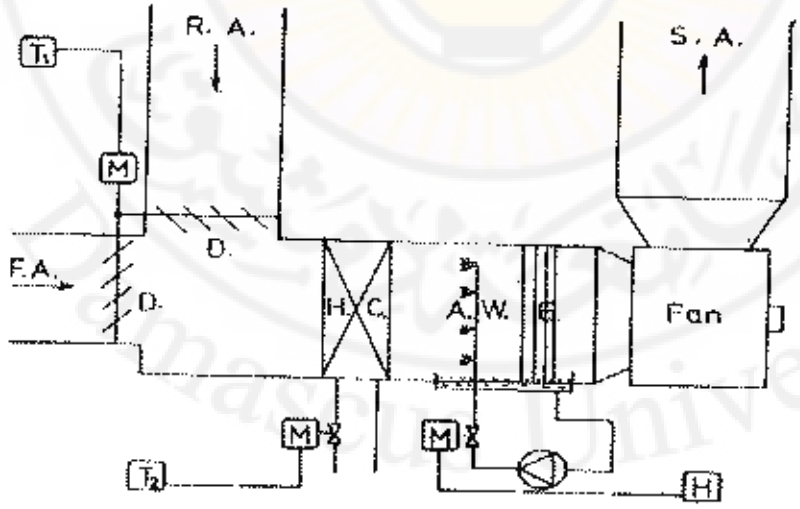
إن نسبة الهواء الجديد إلى الهواء الصعاد يمكنها أن تغير من درجة حرارة المزيج و كذلك من نسبة رطوبته . و في بعض الحالات يمكن أن يتم تعيير كمية

الهواء الجديد بشكل ثابت لا يتغير، و عليه يتم التحكم فقط بكمية الحرارة ضمن وشيعة التسخين و ذلك عن طريق صمام ثلاثي آلي كما مر سابقا .



يمكن استعمال صمام ثنائي آلي بدل الصمام الثلاثي في مثل هذه الحالات .

٢٠-٥-٢ <u>التحكم بالمرطبة عند استعمال التبريد بالترطيب :</u>



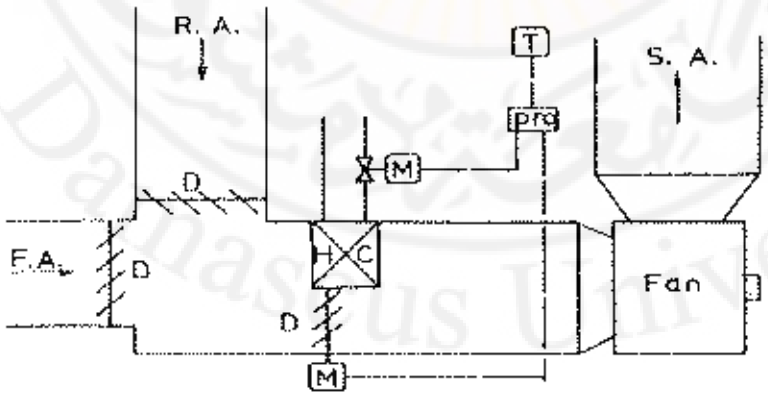
صيفاً:

يفتح ويغلق فتحات دخول الهواء الجديد حسب درجة الحرارة الداخلية إلى أن تصل درجة الحرارة الداخلية إلى حد معين (1) أعظمية تبدأ عندها المرطبة بالعمل، و يكون عندها الهواء (100%) هواءً جديداً يزداد عمل المرطبة حتى تصل الرطوبة إلى الحد المطلوب مع إعطاء درجة حرارة أصغرية من الترطيب .

شتاءً :

يعمل الترموستات (T_2) على التحكم بوشيعة التسخين للحصول على درجة الحرارة المطلوبة . و كذلك يعمل الهيوميدستات (H) على تأمين الرطوبة اللازمة للمكان . و يمكن أن يكون في هذه الحالة جميع الهواء معاداً عدا الجزء البسيط الأصغري اللازم للتهوية الضرورية لحاجة الأشخاص، وبذلك يعمل الترموستات (T_1) مرحلة أولى بإغلاق الهواء الجديد إلى الحد الأصغري، و بعدها يعمل الترموستات (T_2) بطلب زيادة التسخين من وشيعة التسخين .

في بعض الحالات يعمل مجرى تحويل عن وشيعة التسخين أو عن المرطبة عندما لا يكون هناك ضرورة لأن يمر كامل الهواء من المرطبة أو من وشيعة التسخين



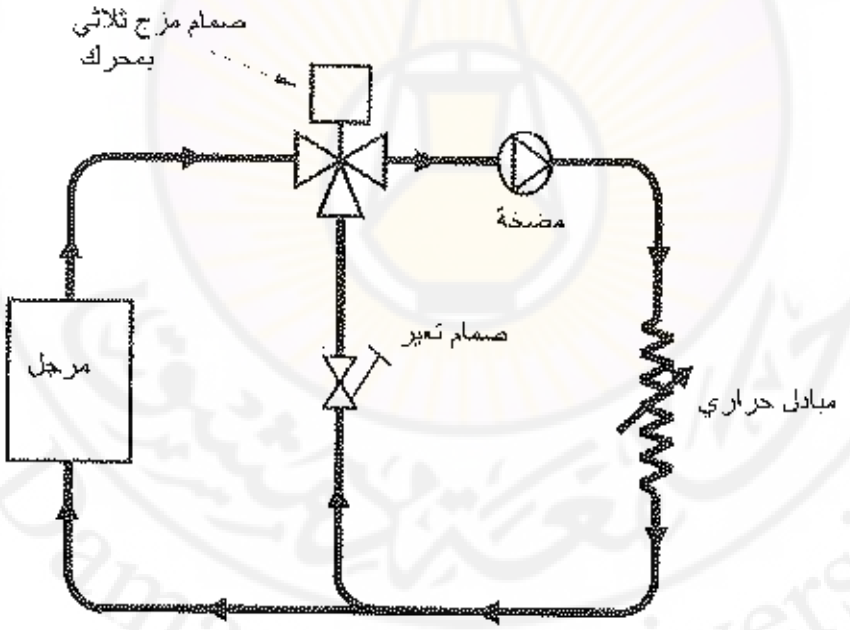
و يوجد طرق عديدة للتحكم بمثل هذه الحالات يمكن الرجوع إليها عند اللزوم حيث إننا عرضنا نماذج منها في بحثنا هذا .

٦-٢٠ الصمام الثلاثي الآلي :

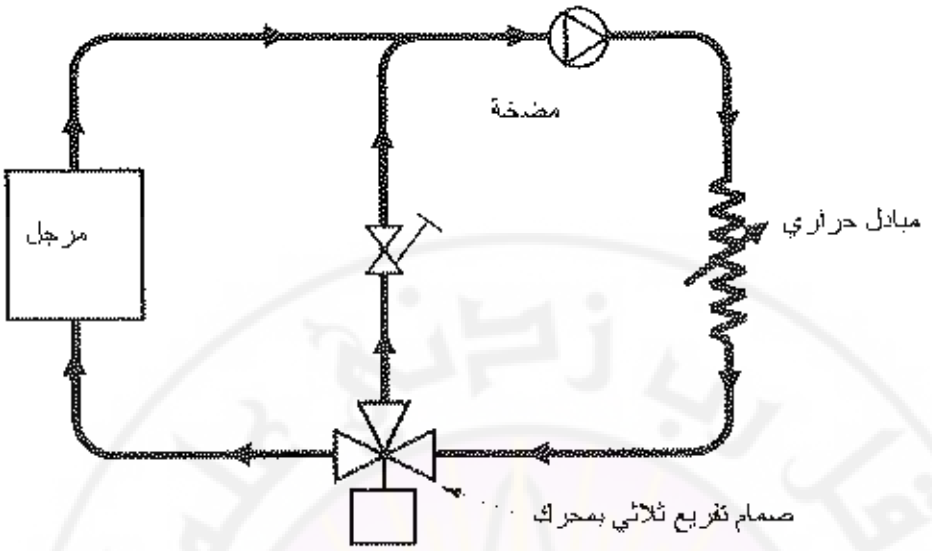
يلاحظ أن الصمام الثلاثي الآلي يعمل كصمام مزج، و يمكن تركيبه على الخط الذاهب أو على الخط الراجع بحسب الأشكال المبينة .

أ- وضع الصمام على الخط الذاهب :

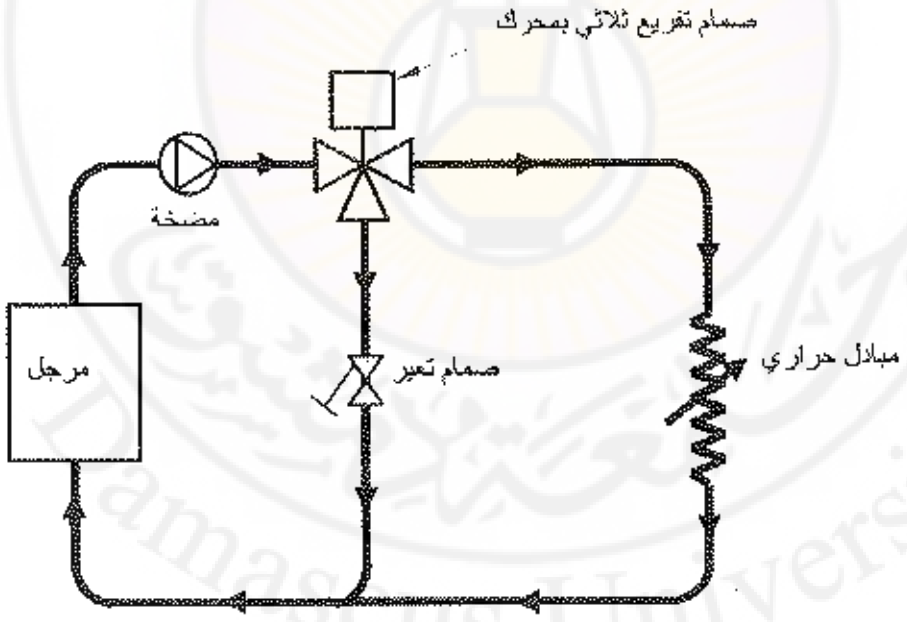
يعطي تدفقاً ثابتاً ودرجة حرارة متغيرة على الخط الذاهب وبالمبادل الحراري.



صمام مزج ثلاثي في دارة تدفئة



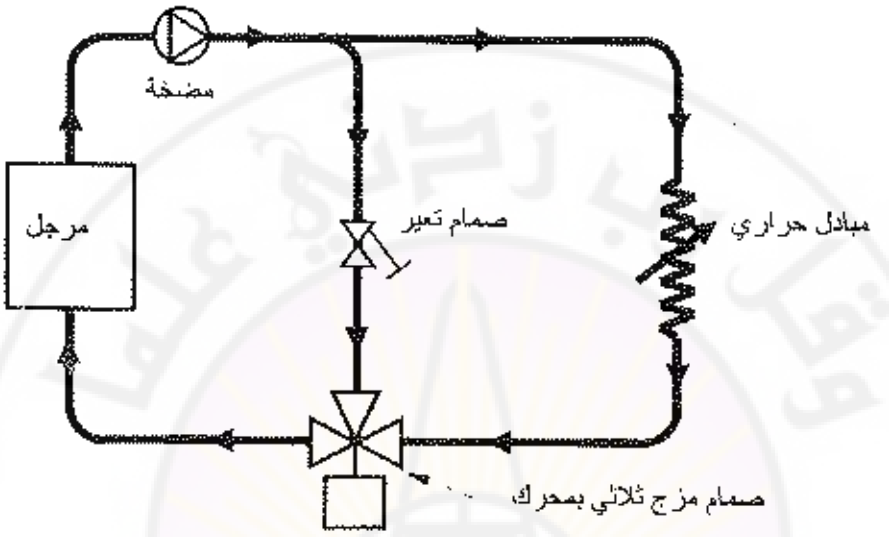
صمام تفريع ثلاثي في دارة تدفئة يعمل عمل صمام مزج على الخط الذاهب



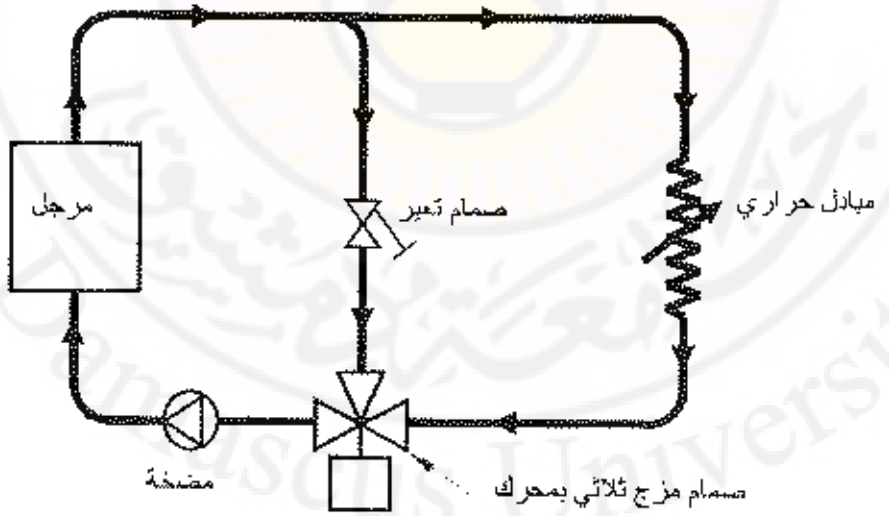
صمام تفريع ثلاثي في دارة تدفئة

ب .. وضع الصمام على الخط الراجع :

يعمل على تفريق الخط الذاهب، و يعطي درجة حرارة ثابتة مع تدفق متغير على الخط الذاهب . لاحظ وضع المضخة في الدارتين .



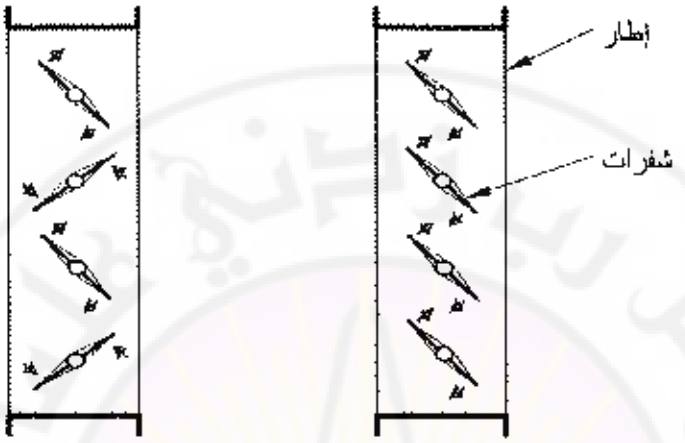
صمام مزج ثلاثي في دارة تدفئة يعمل عمل صمام تفريع على الذاهب



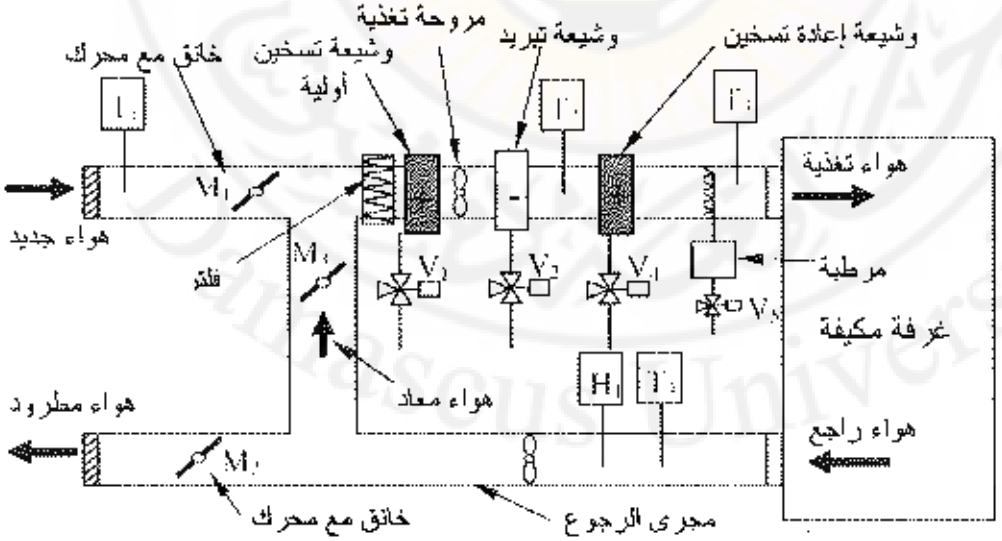
صمام مزج ثلاثي في دارة تدفئة يعمل عمل صمام تفريع على الخط الذاهب و المضخة هنا على الراجع و هذه تكافئ الدارة السابقة

يستخدم لتنظيم تدفق الهواء الخوانق Dampers

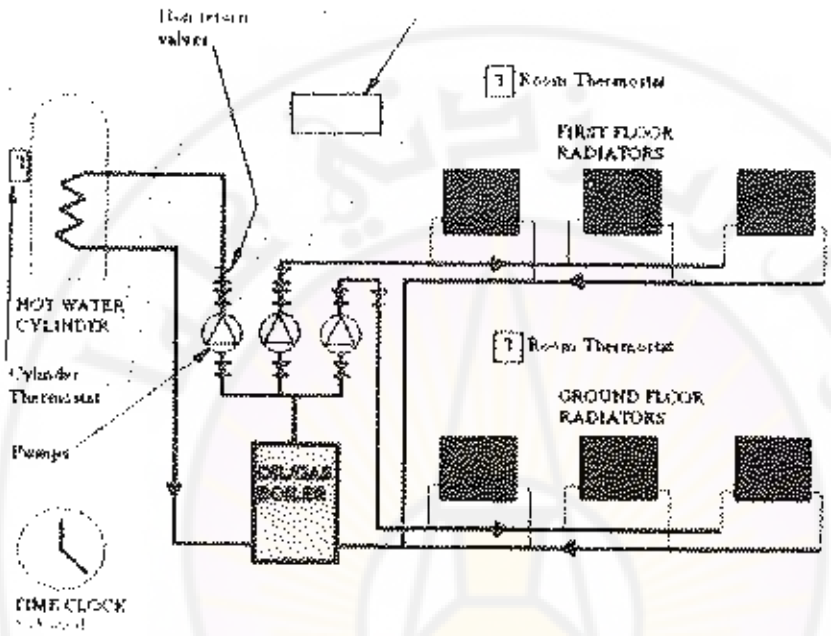
كما يبين الشكل التالي نوعين من توضع شفرات الخوانق



يبين الشكل نظام تكييف وعناصر التحكم المركب عليه (صمامات ثلاثية، خوانق للهواء ، وحساسات قياس)



والشكل التالي يبين دارة تحكم في تدفئة طابقين مدفئين بالمشعات والدارة تحوي عدة مضخات



المراجع العربية

١- الدكتور محمد سعيد الجراح " التدفئة والتهوية الصناعية " منشورات جامعة دمشق كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية١٩٨٢

٢- الدكتور مروان شرباتي " هندسة التدفئة والتكييف " منشورات جامعة دمشق كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية١٩٨٢

٣- الدكتور رضوان عبد الغني المصري " التدفئة والتهوية الصناعية " منشورات جامعة حلب كلية الهندسة الميكانيكية 1997

٤- الدكتور وليد مصطفى خرطبيل " التجهيزات الفنية للمباني " المجلس الأعلى للمعاهد المتوسطة منشورات جامعة دمشق كلية ١٩٩٧-١٩٩٨

٥- الدكتور رمضان أحمد محمود " تكييف الهواء" منشورات منشأة المعارف - الإسكندرية

٦- كود العزل الحراري العربي السوري

المراجع الأجنبية

7- American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers ASHRAE Hand Book 1999-2003-2007. Heating, Ventilating and Air-conditioning , ***Application***

8- American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers ASHRAE Hand Book 1981-

1997-2001- 2005. Heating, Ventilating and Air-conditioning , **Fundamentals**

9- American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers ASHRAE Hand Book 1996-2000-2004-2008. Heating, Ventilating and Air-conditioning , **System and Equipment**

10- **IHVE** Guide A, B, C, 1975, 1976 , 1977
The Institution of Heating and Ventilating Engineers 49 Gadogan Square London SW1X OJB

11- Fay C. McQuiston. Heating Ventilating and Air conditioning. Analysis and design. Jon Wilfey & Sons, New York 1994

12- W. P. Jones Air conditioning Applications and Design ARNOLD, LONDON 1997

رموز مستخدمة

A	ـ مساحة
C	ـ معامل ـ تكلفة ـ نسبة تركيز
C_p	ـ حرارة نوعية مع ثبات الضغط
d , D	ـ قطر
f	ـ معامل الاحتكاك
h	ـ إنتالبي
H	ـ ارتفاع
i	ـ شروط داخلية
L	ـ طول
le	طول مكافئ

m	ـ تدفق هواء أو ماء
n	ـ عدد
P	ـ ضغط
Q	ـ استطاعة حرارية
U	ـ معامل انتقال حرارة كلي
R.H	ـ رطوبة نسبية
RRL	ـ خط عمل الغرفة أو معامل الحرارة المحسوسة
t	ـ درجة حرارة
TR	ـ طن تبريد
v	ـ حجم نوعي
V	ـ حجم أو سرعة
W	ـ عرض
X	ـ مسافة
E	ـ اتجاه شرق
N	ـ اتجاه شمال
S	ـ اتجاه جنوب
W	ـ اتجاه غرب

رموز لاتينية

α	ـ معامل امتصاص ـ زاوية
Δ	ـ فرق
δ	سماكة
η	ـ مردود
λ	ـ معامل التوصيل الحراري
μ	ـ وزن جزئي
ν	ـ لزوجة نسبية
ρ	ـ كثافة
Σ	مجموع
θ	رطوبة نسبية

رموز الالحاق

f	ـ احتكاكي
i	ـ داخلي
M	مزج هواء
O	خارجي
R	ـ راجع
S	ـ تغذية
T	ـ كلية
V	ـ سرعة
W	ـ ماء

Damascus University

معجم المصطلحات

Absolute humidity	الرطوبة المطلقة
Absolute refrigeration	التبريد الامتصاصي
Absolute temperature	درجة الحرارة المطلقة
Adiabatic cooler	مبرد اديباتي
Adiabatic humidification	ترطيب إديباتي
Adiabatic mixing	مزج أديباتي
Air change	تغير الهواء
Air cleaning methods	طرق تنقية هواء
Air conditioning systems	أنظمة تكييف الهواء
Air contamination	تلوث الهواء
Air cutain	ستارة هوائية
Air duct design	تصميم مجرى الهواء
Air flow	تدفق الهواء
Air handleing uint	وحدة معالجة الهواء
Air mixture	مزيج الهواء
Air space	الفراغ الهوائي
Air sterilization	تعقيم الهواء
Air washers	غسالات الهواء
All air	هواء كلي
All water	ماء كلي
Angle Valve	صمام زاوية
Apparatus dew point	درجة حرارة الندى للجهاز
Assumed velocity method	طريقة السرعات المفروضة
Auxiliary heat source	مصدر طاقة مساعد
Axial fan	مروحة محورية
Basic components	مكونات اساسية
Boiler	مرجل فولاذ
Brick	قرميد
By-pass air	تمرير الهواء جانبيا
Cast iron	حديد صب
Ceiling	سقف
Central fugal pump	مضخة طاردة مركزية
Central heating	تدفئة مركزية
Chemeny	مدخنة

Chemical dehumidification	إزالة الرطوبة كيمائيا
Chiller	مبرد
Classification of air duct systems	تصنيف أنظمة مجاري الهوائية
Coiles	وشائع
Comfort	مريح
Compressors	ضواغط
Conduction	التوصيل
Conductivity	الموصلية
Connections of air ducts	توصيل مجاري الهواء
Contaminated air	هواء ملوث
Control	تحكم
Controllers	متحكمات
Convection	الحمل
Cooling and dehumidification process	عملية تبريد وإزالة رطوبة
Cooling coil	وشيعة تبريد
Cooling load calculation methods	طرق حساب حمل تبريد
Cooling load temperature difference	فرق درجة حرارة حمل التبريد
Corke	فلين
Corrosion	تأكل
Damper	خانق
Dehumidifiers	إزالة الرطوبة
Direct expansions	تمدد مباشر
Dry filters	مرشحات جافة
Dual duct	مجرى ثنائي
Dust	غبار
Dynamic losses for fittings	ضياعات ديناميكية للإكسسوارات
Electric controls	تحكم كهربائي
Electronic control	تحكم الكتروني
Electronic filters	مرشحات الكترونية
Energy sources for control systems	مصادر طاقة لأنظمة تحكم
Equal pressure losses method	طريقة ضياع الضغط المتساوي
Evaporator	مبخر
Evaporator cooling	تبريد تبخيري
Expansion tank	خزان تمدد
Expansion Valve	صمام تمدد