م. مروان شرباتي

الدكتور المهندس
مروان شرباتي
أستاذ مساعد في كلية الهندسة
الميكانيكية والكهربائية
جامعة دمشق

هندسة التدفئة والتكييف

حقوق التأليف والطبع والنشر محفوظة لجامعة دمشق

مطبعة الداودي ـ دمشق

١٤٠٢ ـ ١٤٠٣ هـ
١٩٨٢ ـ ١٩٨٣ م

د. مروان شربابي

المحتـــــــــــوى

التدفئـــــــــــة

١ ــ مقدمـــــة تاريخيـــــــة ١٥

٢ ــ شروط التدفئة المركزية واختيار شروط التصميم الداخليـــــة ١٨
والخارجيـــــــة

٢ ــ ١ اختيار درجات الحرارة الداخلية المطلوبة شتـــــاء

٢ ــ ٢ اختيار درجات الخرارة الخارجية التصميمية شتـــــاء

٣ ــ حساب اجهزة التدفئـــة المركزيـــة ٢٢

٣ ــ ١ حساب كمية الحرارة اللازمة للتدفئـــــة

٣ ــ ١ ــ ١ دراسة عوامل انتقال الحرارة لمواد البنـــاء
والعوازل

٣ ــ ١ ــ ٢ حساب الضياع الحرارى من الابنيـــة

٣ ــ ١ ــ ٢ ــ ١ الضياع الحرارى نتيجة النفوذ الحرارى

٣ ــ ١ ــ ٢ ــ ٢ الضياع الحرارى نتيجة تسرب الهواء

٣ ــ ١ ــ ٣ حساب الضياع الحرارى بحالات خاصة

٣ ــ ١ ــ ٤ المعلومات المطلوبة عند حساب الضياع الحرارى
امثلـــــة محلولـــــة

٣ ــ ٢ دراسة الاستطاعة الحرارية من الاجسام المشعة
مثـــــال

٣ ـ ٢ ـ ٢ الاجسام المشعة ذات المقاطع والاصابع
٣ ـ ٢ ـ ٣ الاجسام المشعة المسطحة
٣ ـ ٢ ـ ٤ المشعات الانبوبية
٣ ـ ٢ ـ ٥ مشعات دارات الحمل
٣ ـ ٢ ـ ٦ وحدات التدفئة
٣ ـ ٣ حساب اقطار انابيب التدفئة بالماء الساخن
٣ ـ ٣ ـ ١ حساب الضياع الحرارى من الانابيب
مثال
٣ ـ ٣ ـ ٢ حساب سماكة العازل الاقتصادية للانابيب
مثال
٣ ـ ٣ ـ ٣ حساب اقطار انابيب شبكة التدفئة في الدرارات التثاقلية
مثال
٣ ـ ٣ ـ ٤ حساب اقطار انابيب شبكة التدفئة في الدارات القسرية
مثال
٤ ـ متممات اجهزة التدفئة وحسابها ٧٧
٤ ـ ١ المراجل
٤ ـ ١ ـ ١ حساب استطاعة المرجل
٤ ـ ١ ـ ٢ اختيار عدد المراجل
٤ ـ ٢ حراقات الوقود السائلة

٤ ـ ٢ ـ ١ حساب استطاعة حراقات الوقود السائلة
٤ ـ ٣ مضخـــات التسريع
٤ ـ ٣ ـ ١ المنحني المميز للمضخة ولانابيب الماء
٤ ـ ٣ ـ ٢ قوانين المضخـات
٤ ـ ٤ خزان التمـــدد
٤ ـ ٥ المدخنـــــة
٤ ـ ٦ غرفـــة الآلات
٥ ـ وضـــع المضخـة في شبكـة التدفئة ٩٤
٦ ـ طرق واساليب التدفئـة المركزيـة المستعملة ٩٦
٦ ـ ١ التدفئـــة بالماء الســاخن
٦ ـ ١ ـ ١ التدفئة بالماء الساخن وجريان طبيعي
٦ ـ ١ ـ ١ ـ ١ شبكة الانبوبين بتغذية من الاسفل
٦ ـ ١ ـ ١ ـ ٢ شبكة الانبوبين بتغذية علويـــة
٦ ـ ١ ـ ١ ـ ٣ شبكة الانبوب الواحد بتغذية علوية
٦ ـ ١ ـ ٢ التدفئـــة الطابقيـــة
٦ ـ ١ ـ ٢ ـ ١ التدفئة الطابقية بجريان طبيعي
٦ ـ ١ ـ ٢ ـ ٢ التدفئـة الطابقية بجريان قسـرى
٦ ـ ١ ـ ٣ التدفئة بالماء الساخن وبجريان قسرى
٦ ـ ١ ـ ٤ التدفئـــة بالاشـــعاع
٦ ـ ٢ التدفئة بالبخـار ذى الضغط المنخفض
٦ ـ ٣ التدفئة بالهـــواء الساخـن
٦ ـ ٤ الطرق الاخـرى المستعملـة بالتدفئـة

٦ ـ ٤ ـ ١ التدفئة بالماء ذى الضغط المنخفض
٦ ـ ٤ ـ ٢ التدفئة بالبخار ذى الضغط العالي
٦ ـ ٤ ـ ٣ التدفئة باستعمال الصفائح المشعة المعلقة
٦ ـ ٤ ـ ٤ التدفئة بالطاقة الشمسية
٧ ـ التحكم ١١٣

تكييف الهواء

١ ـ مقدمة المؤلف ١٢٠
٢ ـ المناخ والانسان ١٢٧
٢ ـ ١ الهواء الجوى الخارجي
٢ ـ ١ ـ ١ درجة الحرارة اليومية وتغيراتها
٢ ـ ٢ التبادل الحرارى بين جسم الانسان والجو المحيط به
٢ ـ ٢ ـ ١ انتقال الحرارة من جسم الانسان الى الوسط المحيط بواسطة الانتقال
٢ ـ ٢ ـ ٢ انتقال الحرارة من جسم الانسان الى الوسط المحيط بواسطة الحمل
٢ ـ ٢ ـ ٣ انتقال الحرارة من جسم الانسان الى الوسط المحيط بواسطة الاشعاع
٢ ـ ٢ ـ ٤ انتقال الحرارة من جسم الانسان الى الوسط المحيط بواسطة التبخر
٢ ـ ٣ الألبسة

٣ ـ مواصفات الراحة الحرارية للوسط المحيط بالانسان ١٥٥
٣ ـ ١ مخطط الراحة الحرارية
٤ ـ الاسس المناخية اللازمة لتصميم وحساب آلات التكييف ١٦٢
٤ ـ ١ اختيار درجة حرارة الهواء الجافة الخارجية (التصميمية)
٤ ـ ٢ اختيار الرطوبة النسبية او درجة الحرارة الرطبة الخارجية (التصميمية)
٤ ـ ٣ اختيار شروط التصميم الداخلية
٥ ـ المواصفات الحرارية للابنية ١٧٠
٥ ـ ١ مواصفات مواد البناء الحرارية
٥ ـ ٢ توجيه البناء وشكله الهندسي
٦ ـ الاشعاع الشمسي المباشر وغير المباشر وتأثير العوامل المختلفة على قيمتهما ١٨٦
٦ ـ ١ تعاريف اساسية في علم الفلك
٦ ـ ٢ شدة الاشعاع الشمسي المباشر وغير المباشر وتأثير تعكر الجو على قيمتهما
٦ ـ ٢ ـ ١ الاشعاعات الشمسية المباشرة
٦ ـ ٢ ـ ٢ الاشعاعات الشمسية غير المباشرة
٧ ـ حساب الربح الحرارى للمكان المكيف في فصل الصيف ٢٠٩
٧ ـ ١ الربح الحرارى الناتج عن المصادر الحرارية
٧ ـ ١ ـ ١ حساب الربح الحرارى من الجدران والسقوف
٧ ـ ١ ـ ٢ تعريف درجة الحرارة الشمسية الهوائية
٧ ـ ٢ الطرق العملية لحساب الربح الحرارى من خلال

الجد ران والسقوف
٧ ـ ٢ ـ ١ حساب الربح الحرارى من الجد ران والسقوف بطريقة IHVE
٧ ـ ٢ ـ ٢ حساب الربح الحرارى بطريقة الفرق الكلي لدرجة الحرارة المعادلة TETD
٧ ـ ٢ ـ ٣ حساب الربح الحرارى من الجد ران والسقوف الداخلية ومن الارض
٧ ـ ٣ حساب الربح الحرارى من النوافذ
٧ ـ ٣ ـ ١ التظليل الداخلي والتظليل الخارجي والزجاج بطبقتين
٧ ـ ٣ ـ ٢ هندسة التظليل المعمارى
٧ ـ ٣ ـ ٣ حساب الربح الحرارى من الزجاج بطريقة ASHRAE
٧ ـ ٤ حساب الربح الحرارى من المصادر الداخلية
٧ ـ ٤ ـ ١ الربح الحرارى من الاشخاص
٧ ـ ٤ ـ ٢ الربح الحرارى من الانارة
٧ ـ ٤ ـ ٣ الربح الحرارى من الالات
٧ ـ ٤ ـ ٤ الحرارة المنتجة من المواد الحارة
٧ ـ ٤ ـ ٥ الربح الحرارى من مراوح الهواء
٧ ـ ٤ ـ ٦ الربح الحرارى الناتج عن التهوية الطبيعية
٧ ـ ٤ ـ ٧ الضياعات الحرارية نتيجة تبخر الماء

٨ ـ الحمل الحرارى والحمل التبريد ى ٢٤٩
٨ ـ ١ الربح الحرارى للمكـــان
٨ ـ ٢ الحمل التبريد ى للمكان
٨ ـ ٣ كمية الحرارة المزالة من المكـان
٨ ـ ٤ حمل وشيعة التبريد
٩ ـ حساب حمل التبريد الآني بطريقـة ASHRAE 1972 ٢٥٣
١٠ ـ حساب الحمل التبريد ى بطريقة فرق د رجة الحـــــرارة ٢٥٦
للحمل التبريد ى ASHRAE 1977
١١ ـ حساب اعظم ربح حرارى او حمل تبريد ى وتحد يد شهر ٢٥٨
وساعة التصميم
١٢ ـ الهـــواء الرطـــب ٢٦٠
١٢ ـ ١ الرموز التي تحد د رطوبة الهواء
١٢ ـ ٢ الغازات المثالية وعلاقتها بالهواء الرطب
١٢ ـ ٣ انتالبي الهواء الرطب
١٢ ـ ٤ مخططات الهواء الرطب، مخطط موليير، المخطط
السايكومترى
١٢ ـ ٥ عمليات التكييف النموذجية وتمثيلها على المخطـــط
السايكومترى
١٢ ـ ٥ ـ ١ اعطاء الهواء كمية من الحرارة
١٢ ـ ٥ ـ ٢ تبريد الهواء الرطب
١٢ ـ ٥ ـ ٣ تبريد الهواء مع انقاص نسبة رطوبته
١٢ ـ ٥ ـ ٤ الخلط الاد ياباتي لتيارين من الهواء الرطب

١٢ ــ ٥ ــ ٥ المزج الادياباتي للهواء الرطب مع الماء
او البخار المبخوخ (المحقون)
١٢ ــ ٦ العوامل المستعملة في المخططات السايكومترية
١٢ ــ ٦ ــ ١ عامل الحرارة المحسوسة
١٢ ــ ٦ ــ ٢ عامل الحرارة المحسوسة للغرفة
١٢ ــ ٦ ــ ٣ عامل الحرارة المحسوس لجهاز التكييف
١٢ ــ ٦ ــ ٤ عامل التحويل
١٢ ــ ٦ ــ ٥ عامل الحرارة المحسوس الفعال
١٢ ــ ٦ ــ ٦ خط تغير الحالة
١٣ ــ حساب كميات تدفق الهواء اللازمة للتكييف والتهوية ٢٩٠
١٣ ــ ١ حساب كمية تدفق الهواء الجديد من معرفة عدد
مرات تبديل الهواء
١٣ ــ ٢ حساب كمية تدفق الهواء الجديد من معرفة كمية
الهواء اللازمة للشخص الواحد
١٣ ــ ٣ حساب كمية تدفق الهواء الكلية من معرفة الربح
الحرارى المحسوس للمكان المراد تكييفه
١٣ ــ ٤ حساب كمية تدفق الهواء الكلية من معرفة الضياع
الحرارى المحسوس للمكان المراد تكييفه
١٣ ــ ٥ حساب كمية تدفق الهواء الكلية من معرفة الربح
الحرارى الكامن للمكان المراد تكييفه
١٣ ــ ٦ حساب كمية تدفق الهواء الكلية من معرفة العوامل
المستعملة في المخططات السايكومترية

١٣ ـ ٧ حساب كمية تدفق الهواء الجديد اللازمة للتهوية من معرفة المواد الضارة المنبعثة داخل المكان المكيف او المهوى
١٣ ـ ٧ ـ ١ حساب كمية التدفق عند ما تكون التهوية داخل المكان المكيف مستمرة وحالة الهواء مستقرة وثابتة
١٣ ـ ٧ ـ ٢ حساب كمية تدفق الهواء عند ما تكون التهوية متقطعة

التجهيزات الاساسية التي تتألف منها اجهزة التكييف والتهوية

١٤ ـ مجارى الهواء ٣١١
١٤ ـ ١ الاسس النظرية للجريان
١٤ ـ ١ ـ ١ اسس الجريان
١٤ ـ ١١ ـ ٢ معادلة الاستمرار
١٤ ـ ١ ـ ٣ معادلة الطاقة للموائع في حالة الجريان (معادلة بيرنولي)
١٤ ـ ١ ـ ٤ جريان الموائع الحقيقية
١٤ ـ ١ ـ ٥ الضياعات الناتجة عن جريان الموائع الحقيقية
١٤ ـ ١ ـ ٦ الضياعات الناتجة عن المقاومات المكانية
١٤ ـ ١ ـ ٧ الضياعات الصغطية الكلية

١٤ ـ ٢ الطرق العملية لحساب مجارى الهواء
١٤ ـ ٢ ـ ١ حساب ابعاد المجارى بطريقة انخفاض ضغط ثابت
١٤ ـ ٢ ـ ٢ حساب ابعاد المجارى بطريقة انخفاض السرعة
١٤ ـ ٢ ـ ٣ حساب ابعاد المجارى بطريقة الربح الستاتيكي
١٥ ـ مراوح الهواء ٣٣٥
١٥ ـ ١ تعريف المراوح والرموز الاساسية لها
١٥ ـ ٢ تصنيف المراوح
١٥ ـ ٣ الاجزاء الرئيسية التي تتألف منها المراوح
١٥ ـ ٤ المواصفات التي تميز المراوح
١٥ ـ ٥ المعادلة الرئيسية للمراوح
١٥ ـ ٦ قوانين المراوح
١٥ ـ ٧ المنحنيات المميزة للمراوح
١٥ ـ ٨ المنحنيات المميزة الحقيقية للمراوح
١٥ ـ ٩ المنحني المميز لمجارى الهواء
١٥ ـ ١٠ وصل المراوح على التسلسل وعلى التوازى (التفرع)
١٥ ـ ١١ تركيب المروحة في مجارى الهواء
١٥ ـ ١٢ طرق التنظيم والتحكم في المراوح الموصولة مع مجارى الهواء
١٥ ـ ١٣ الاسس المتبعة لاختيار المراوح

١٦ ـ معـــدات انتشـــار الهـــواء ٣٦٧
١٦ ـ ١ تعاريف اساسيـــــة
١٦ ـ ٢ الفتحات المجهزة بشبك
١٦ ـ ٣ الفتحات الضيقة والمستطيلة
١٦ ـ ٤ انيموستات سقفي
١٦ ـ ٥ الســـقوف المثقوبـــة
١٦ ـ ٦ حساب الفتحات المجهزة بشبك
١٦ ـ ٧ حساب فتحات الهواء الضيقة والمستطيلة
١٦ ـ ٨ تأثير السقف او الجدار واختلاف درجات الحـــرارة على مسافة القذف
١٦ ـ ٩ الفتحـــات السقفيـــة
١٦ ـ ١٠ السقوف المثقوبـــة
١٦ ـ ١١ تصميم فتحات الهـــواء
١٦ ـ ١٢ السرعات الموصى بها لحساب ابعاد فتحات الهواء
١٦ ـ ١٣ فتحات رجوع الهواء
١٦ ـ ١٤ صورة الجريان داخل المكان المكيف

١٧ ـ غسالات الهواء والمرطبـــات ٣٨٧
١٧ ـ ١ غسالات الهـــواء Air Washers
١٧ ـ ١ ـ ١ الغسالات نموذج Spray-type washers
١٧ ـ ١ ـ ٢ الغسالات نموذج Capillary Air Washers
١٧ ـ ١ ـ ٣ الغســـالات نموذج Cell-type Washers
High-Velocity Spray-type Washers

١٧ ــ ٢ حساب غسالة الهواء
١٧ ــ ٣ وظيفة غسالات الهواء
١٧ ــ ٤ مردود غسالات الهواء
١٧ ــ ٥ استعمال غسالات الهواء
١٧ ــ ٥ ــ ١ الترطيب بواسطة غسالات الهواء
١٧ ــ ٥ ــ ٢ تنقيص الرطوبة والتبريد بواسطة غسالات الهواء
١٧ ــ ٥ ــ ٣ تنقية الهواء (تنظيف الهواء) بواسطة غسالات الماء
١٧ ــ ٦ الترطيب
١٧ ــ ٦ ــ ١ الترطيب بواسطة تذرير الماء بالهواء المضغوط Compressed Air Separation
١٧ ــ ٦ ــ ٢ الترطيب بواسطة دوران قرص Mechanical Separation
١٧ ــ ٦ ــ ٣ الترطيب نموذج Pan Humidifier
١٨ وشيعة تبريد الهواء ٤٠٣
١٨ ــ ١ انواع وشائع التبريد
١٨ ــ ٢ الحسابات الحرارية الى وشيعة التبريد
١٨ ــ ٣ عامل التلامس او عامل التحويل لوشيعة التبريد
١٨ ــ ٤ وشيعة التبريد المحسوس
١٨ ــ ٥ وشيعة التبريد المبخوخة
١٨ ــ ٦ وشيعة التبريد المباشرة

١٨ ـ ٧ الفرق بين وشيعة التبريد وغسالات الهواء
١٨ ـ ٨ اختيار وشيعة التبريد
١٩ ـ مصافي الهواء Air Filters ٤٢٤
١٩ ـ ١ ميكانيكية تجمع الذرات الغبارية
١٩ ـ ٢ مواصفات مصافي الهواء
١٩ ـ ٣ تصنيف مصافي الهواء
١٩ ـ ٣ ـ ١ المصافي ذات المردود القليل
١٩ ـ ٣ ـ ٢ المصافي ذات المردود المتوسط
١٩ ـ ٣ ـ ٣ المصافي ذات المردود العالي
١٩ ـ ٣ ـ ٤ المصافي ذات المردود المطلق
١٩ ـ ٤ مصافي ضد الرائحة
٢٠ الطرق والاساليب المستعملة في تكييف الهواء ٤٤٠
٢٠ ـ ١ الاسلوب الهوائي
٢٠ ـ ٢ اسلوب هواء ـ ماء
٢٠ ـ ٣ الاسلوب المائي
٢٠ ـ ٤ اسلوب الوحدات المنفصلة
٢١ ـ التحكم بأجهزة التكييف ٤٥٥
٢١ ـ ١ تصنيف اجهزة التحكم
٢١ ـ ٢ التحكم بدرجة الحرارة
٢١ ـ ٣ التحكم بالرطوبة
المراجع ٤٦٠

د. نزار الشربجي

هندسة التدفئة

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

١ مقدمة تاريخية

ان تعريف هندسة التدفئة هو تدفئة الغرف والاماكن التي يتواجد فيها الناس في فصل الشتاء بحيث يؤدى ذلك الى رفع درجة حرارة الهواء في الغرف ورفع درجة حرارة الاشعاع الوسطية للسطوح المحيطة بالغرفة .

ان اقدم طريقة للتدفئة المكانية عند مختلف الشعوب كانت التدفئة بواسطة موقد يستعمل الخشب كمصدر للطاقة الحرارية ، والذى كان يستعمل ايضا لطهي الطعام . وباعتبار ان هذه الطريقة من التدفئة كانت مصحوبة بتوليد كمية كبيرة من الدخان . فقد استعمل الرومانيون القدماء الفحم الخشبي لهذه الغاية والذى كان يحرق على اطباق معدنية .

حوالي القرن العاشر الميلادى تطورت المواقد المكشوفة الى مواقد مغلقة بحيث تم سحب الدخان المتولد من الاحتراق بواسطة مدخنة مخصصة لذلك . مصنوعة في الابتداء من الحجر، ثم من الطين ، ثم صنعت من القطع المكعبة حوالي القرن الرابع عشر .

حوالي القرن السابع عشر تم استعمال الافران الحديدية للتدفئة التي تطورت وتحولت ولا يزال استعمالها وتطورها حتى الوقت الحاضر .

ان اول طريقة تدفئة مركزية استعملها الرومان كانت تسمى

التدفئة بطريقة Hypokaust حيث كانت توضع غرفة الاحتراق تحت المبنى مباشرة وكان الوقود المستعمل هو الخشب او الفحم الحجرى. أما غازات الاحتراق فكانت تمر تحت المبنى وتسخن ارض المبنى وتنطلق من فتحات موجودة على طرف المبنى ودون مداخن (حوالي عام 215) .

حوالي القرن الثاني عشر تم انشاء عدة ابنية في المانيا مدفأة بواسطة افران حجرية حيث كانت النار المتولدة من الخشب ترفع من درجة حرارة الاحجار. وبعد انطفاء النار كانت الاحجار تعطي الحرارة المختزنة فيها الى الغرفة .

حوالي القرن الثامن عشر تمت صناعة افران لتدفئة الهواء تحتوى على فتحة لدخول الهواء الخارجي ومدخنة لسحب غازات الاحتراق وكانت هذه الافران مصنوعة من الآجر وملبسة بطبقة ملساء وموضوعة في القبو، وزودت هذه الافران بمدخنة لسحب غازات الاحتراق. وتم تسخين الهواء على السطح الخارجي للفرن حيث كان يدفع بواسطة ثقوب في الارض الى الغرفة. وبعد ذلك تم استعمال انابيب حديدية تمر خلالها غازات الاحتراق وحولها هواء التدفئة او بالعكس .

اما التدفئة بالبخار فقد نشأت اولا في انكلترة عام 1750 بضغط يتراوح بين 1 bar الى 2 bar . والاجسام المشعة كانت الانابيب الملساء، او الانابيب ذات الشفرات .

في الولايات المتحدة الامريكية وفي عام 1870 تم استعمال المراجل من الحديد الصب . وفي عام 1880 كان استعمال مدافئ من الحديد الصب . وفي عام 1895 تمت صناعة المراجل ذات المقاطع من

قبل المهندس Strebl . وبعد ذلك بقليل تحسنت التدفئة بواسطة التحكم بالاحتراق، والتحكم بالصمامات ، وبدئ باستعمال فحم الكوك للاحتراق .

اول تدفئة للبيوت تم تحقيقها حوالي عام 1900 في مدينة درسدن حيث تم تدفئة احد عشر بيتا من مصدر واحد للتدفئة .

في ابتداء القرن العشرين اتسع استعمال التدفئة بواسطة الماء وباستعمال مضخات التسريع في بيوت السكن وفي المؤسسات والمكاتب وغيرها . والتدفئة بالبخار في الاماكن الصناعية علما بأن التدفئة بالبخار لا تزال منتشرة وبشكل واسع في الولايات المتحدة الامريكية لغاية الآن وفي اكثر مجالات الحياة .

اما التدفئة بالماء وبضغط عال فقد ابتدعها Perkins عام 1831 في انكلترة، حيث استعمل دارة مغلقة بأنابيب سميكة وضغط لغاية 2 bar ، لتدفئة المصانع .

ان هدف التطور في هذا المجال في الوقت الحاضر هو تحسين مردود اجهزة التدفئة وانتاج انواع جديدة من الاجسام المشعة ، وتحسين المراجل وخاصة الفولاذية منها من جهة المردود ومن جهة التشغيل والصيانة ، وتصميم التدفئة الجماعية لعدة ابنية منفصلة بحيث تكون مناسبة من الناحية الاقتصادية ومن الناحية العملية .

٢ شـــروط التدفئة المركزية واختيار شـــروط التصميم الداخليـة والخارجيـة

يجب ان تحقق التدفئة المركزيـة الشروط والمواصفـات التاليـة :

آ ـ تأمين الراحة الحرارية في المكان المدفأ بحيث تكون درجة حـرارة هواء الغرفة الوسطية ، ودرجة حرارة الاشعاع الوسطية للسطـوح المجاورة للغرفة في المجال المناسب للراحة الحرارية وان يكـون توزع درجات الحرارة الافقي والعمودي داخل الغرفة بمجال $\pm 1 C^{\circ}$.

ب ـ امكانية التحكم بالتدفئة ، بحيث يمكن التحكم بدرجة الحـرارة الداخلية في مجال محدد ، وبسرعة عالية . كما يجب الوصـول الى الراحة الحرارية في اقصر وقت ممكن من ابتداء التشغيل .

جـ ـ يجب ان تكون التدفئة اقتصادية ورخيصة من جهة الكلفة التأسيسيـة ومن جهة الكلفة التشغيلية .

د ـ يجب الا تفسد التدفئة الهواء الداخلي ، ولا تؤدي الى توليـد الغبار ، او الغازات الضارة ، او الضجيـج .

لهذا فعند اختيار طريقة التدفئة يجب الاخذ بعين الاعتبـار الشروط السابقة بالاضافة الى نوع البنـاء واستعماله وعدد الاشخـاص الموجودين فيـه .

٢ ـ ١ اختيار درجات الحرارة الداخلية المطلوبة شتاء :

يتم تحديد درجة الحرارة الداخلية المطلوبة وفق الاعتبارات التالية :

أ ـ استعمال البناء : ان نوع العمل والنشاط للاشخاص المقيمين في البناء له التأثير الاساسي في اختيار درجة الحرارة الداخلية ، فكلما كان العمل مجهدا كلما خفضت درجة الحرارة المطلوبة . فدرجة الحرارة المطلوبة لصالة العاب رياضية مثلا ستكون اخفض حتما من درجة الحرارة المطلوبة لغرفة مكتب . وهذه ستختلف حتما عن درجة الحرارة الداخلية المطلوبة في الحمامات او المسابح التي تتطلب درجة حرارة مرتفعة مع ملاحظة الاعتبارات الصحية بالدرجة الاولى .

ب ـ اعمار الاشخاص وجنسهم : تختلف درجة الحرارة الداخلية التي يرتاح اليها رجل متقدم في السن عن درجة الحرارة التي يرتاح اليها شاب ، وكذلك تختلف حسب الجنس والعادة .

جـ ـ مستوى الرفاهية في البناء : كلما كان مستوى الرفاهية مرتفعا كلما ارتفعت درجة الحرارة الداخلية وذلك ضمن حدود الشعور بالراحة الحرارية .

د ـ الناحية الاقتصادية : والتي تهدف دوما الى خفض درجة الحرارة الداخلية المطلوبة لتوفير في الكلفة التشغيلية والكلفة التأسيسية للمشروع .

وقد اجريت عدة دراسات على اشخاص كثيرين وفي مناطق مختلفة وتحت ظروف مختلفة وذلك في مناطق متعددة من العالم لتحديد درجة الحرارة الداخلية المريحة والاقتصادية. واهم هذه الدراسات جمعية مهندسي معهد التدفئة والتهوية IHVE والجمعية الامريكية لمهندسي التدفئة والتبريد وتكييف الهواء ASHRAE . وتختلف القيم التي يعطيها كلا المصدرين،حيث ان مرجع ASHRAE يعطي درجات حرارة داخلية تصميمية اعلى من درجات الحرارة التي يعطيها مرجع IHVE وذلك عائد الى اعتبارات حياتية واقتصادية خاصة بكلا البلدين .

وبالنسبة الى بلدنا فيجب اختيار درجة الحرارة الداخلية بحيث تناسب بيئتنا وظروفنا ومستوى حياتنا الاقتصادي .

وأورد فيما يلي جدولا يمكن الاعتماد عليه في اختيار درجة الحرارة الداخلية شتاء :

نوع المكان	درجة الحرارة الداخلية
غرفة جلوس	20
مطبخ	20
حمام	24
ممر ، بهو	15
بهو الدرج	10
مكتب	20
قاعة محاضرات	20
صالة ألعاب	15

نـــــوع المكـــــان	درجة الحرارة الداخلية
مســـــابح	24
مراقبـــــة وفحـــص	24
غـــرف مرضـــى	22
غـــرف عمليـــات	25
امكنـــــة بيـــع	20
صـــالة ســـينما	20
صـــالة معمـــل	16 - 18

٢ ـ ٢ اختيـــار درجات الحرارة الخارجية التصميمية شـــتاء :

يمكن الرجوع الى الفصل الرابع في هندســة تكييف الهـــواء حيث تم شـــرح هذا الموضـــوع باسهاب .

جامعة دمشق Damascus University

٣ حساب اجهزة التدفئة المركزية

٣ ـ ١ حساب كمية الحرارة اللازمة للتدفئة :

ان حساب كمية الحرارة اللازمة لتدفئة مكان معين يجب ان يتم بحيث يؤمن المواصفات الحرارية الداخلية المطلوبة عند اختيار المواصفات الحرارية الخارجية . ويتم حساب ذلك من معرفة الضياع الحرارى للمكان نتيجة النفوذ الحرارى ونتيجة التهوية .

٣ ـ ١ ـ ١ دراسة عوامل انتقال الحرارة لمواد البناء والعوازل :

ان المعادلة التي تحدد عامل النفوذ الحرارى لجدار مؤلف من عدة طبقات متجانسة هي

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\ell_1}{\lambda_1} + \frac{\ell_2}{\lambda_2} + \frac{\ell_3}{\lambda_3} + \cdots + \frac{1}{\alpha_o}} \quad W/m^2C$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{\alpha_o}}$$

حيث α_i عامل انتقال الحرارة بالحمل والاشعاع للسطح الداخلي W/m^2C°

ℓ_1 , ℓ_2 , ℓ_3 سماكة الطبقة 1 و 2 و 3 m .

$\lambda_1 , \lambda_2 , \lambda_3$ عامل التوصيل الحرارى للطبقة 1 و 2 و 3 W/mC° .

α_o عامل انتقال الحرارة بالحمل والاشعاع للسطح الخارجي W/m^2C°

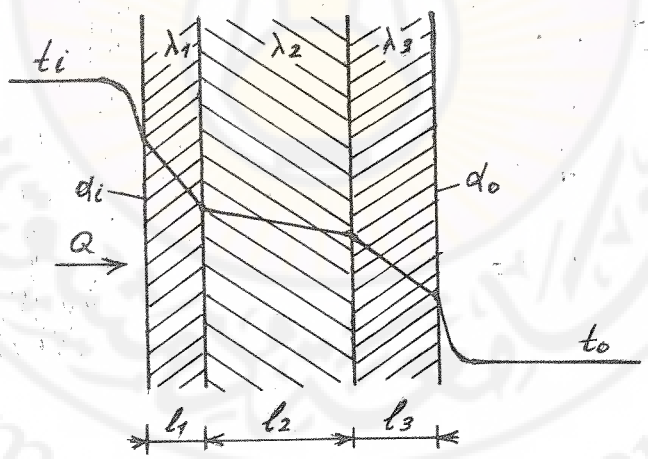
Thermal Conductance عامل الناقلية الحرارية $\Lambda = \xi \frac{\lambda}{\ell}$

$$U = \frac{1}{R_i + R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_o}$$ او

حيث R_1 عامل المقاومة الحرارية للسطح الداخلي $m^2 C^\circ/W$

$R_1, R_2 \ldots$ عامل المقاومة الحرارية لمواد البناء $m^2 C^\circ/W$

R_o عامل المقاومة الحرارية للسطح الخارجي $m^2 C^\circ/W$



ان قيمة عامل المقاومة الحرارية للسطح الداخلي يتعلق باتجاه التدفق الحرارى الى الاعلى او الى الاسفل، كما يتعلق بنوعية السطح، والجدول التالي يعطي قيم R_i و R_o .

عنصر البناء	اتجاه التدفق الحرارى	عامل المقاومة الحرارية الداخلية R_i $m^2 C^\circ / W$	
		جدار عادى مصنوع من مواد البناء $E = 0,9$	جدار معدني مصقول $E = 0,05$
الجدران	افقي	0,123	0,304
سقف او سطح او ارض	للاعلى	0,106	0,218
سقف او ارض	للاسفل	0,150	0,562

حيث E عامل الاصدار Emissivity Factor

عنصر البناء	عامل الاصدار	عامل المقاومة الحرارية الخارجية R_o $m^2 c / w$ سرعة الرياح m/s		
		1	3	9
الجدران	0,90	0,08	0,055	0,03
	0,05	0,11	0,067	0,03
السقف	0,90	0,07	0,045	0,02
	0,05	0,09	0,053	0,02

اما عامل التوصيل الحرارى λ لمواد البناء فانها تتعلق بنوع مواد البناء، كتلتها النوعية (كثافتها)، الفراغات الهوائية داخلها، الرطوبة وغيرها من العوامل. والجدول التالي يبين قيم التوصيل الحرارى لبعض مواد البناء والتي يمكن ان تختلف من مصدر الى آخر حسب طريقة القياس والشروط التي تم بها.

المادة	الكتلة النوعية Kg/m^3	عامل التوصيل الحرارى $\lambda = W/m\,C^\circ$
آجر مصمت	1800	0,87
آجر مع فراغات هوائية	1650	0,73
بيتون عادى مع بحص طبيعي	2200	1,28
بيتون مسلح " " "	2400	1,57
بلوك من البيتون	1400	0,60
" " "	1600	0,76
" " "	1800	0,93
بيتون رغوى مع رمل	600	0,35
" " " "	800	0,41
" " " "	1000	0,51
طينة اسمنتية مع رمل	2000	1,10
" " بدون رمل	1950	0,58
زجاج للنوافذ	2500	1,05
زجاج	3500	0,7

يستعمل في كثير من الاحيان وخاصة في الوقت الحاضر فراغات هوائية او عوازل حرارية لانقاص عامل النفوذ الحرارى U . فعند استعمال فراغات هوائية كعازل للحرارة فان الحرارة تنتقل عبر الفراغ الهوائي بالحمل والتوصيل والاشعاع. وقد اجريت تجارب لقياس المقاومة الحرارية للفراغات الهوائية المحصورة بين مواد البناء. وقد اعطت القياسات الجدول التالي:

وضع الفراغ الهوائي	عامل المقاومة الحرارية $R = m^2C/W$ — سماكة الفراغ الهوائي cm	
	5	20
شاقولي او افقي	0,11	0,18
انتقال الحرارة للاعلى		
انتقال الحرارة للاسفل	0,11	0,21

اما المواد العازلة فان عامل التوصيل الحرارى لها تابع لعدة عوامل اهمها درجة حرارتها وشروط القياس وطريقته . والجدول التالي يبين بعض هذه القيم

اسم المادة	الكثافة kg/m^2	درجة الحرارة الوسطية C°	عامل التوصيل الحرارى W/mC
قطن	80	0	0,056
		100	0,069
سيلون	1350	0	0,21

خشـــــــــب	200	20	0,07
	550	20	0,16
	600	20	0,19
	820	20	0,21
كاوتشوك قاسي ونظيـف	—	50	0,23
كاوتشـوك رمادى	—	50	0,19
فليـــــن	85	20	0,049
فلين مصـــنوع بشكل صفائح	200	30	0,051
جلـــــد	1000	30	0,17
	1380	0	0,15
	1280	0	0,163
بولســتيرين PES	20	20	0,042
بولســتيرول PS	1050	0	0,14
بورســـلان	—	50	1,5
ثـــلج	50	—	0,007
	100	—	0,026
	200	—	0,114
تيفلـــــون	2200	0	0,25

والجدول التالي يعطي قيم النفوذ الحراري للنوافذ والابواب U

طراز النافذة	عامل النفوذ الحراري W/m^2C		
	محمية من الرياح	عادية	غير محمية من الرياح
نافذة بطبقة واحدة من الزجاج			
البرواظ من الخشب	3,8	4,3	5
البرواظ من الحديد	5	5,6	6,7
نافذة بطبقتين من الزجاج			
البرواظ من الخشب	2,3	2,5	2,7
البرواظ من الحديد	3	3,2	3,5

طراز الباب	عامل النفوذ الحراري
باب خارجي من الخشب	4,1 - 4,7
باب خارجي من المعدن	7
باب داخلي من الخشب	2,3

٣ ـ ١ ـ ٢ حساب الضياع الحرارى من الابنيـــة :

يتألف الضياع الحرارى للابنيـة من عاملين هما الضيـــاع الحرارى نتيجة النفوذ الحرارى من خلال الجدران والارض والسقف والضيـاع الحرارى نتيجة التهوية الطبيعيـــة .

$$Q = Q_t + Q_r$$

٣ـ ١ ـ ٢ ـ ١ الضياع الحرارى نتيجة النفوذ الحرارى : نميز الضيـــاع الحرارى الاساسي والذى يساوى مجموع الضياعات الحرارية بالنفوذ للسطـوح المجاورة للمكان المدفأ ، ويعطى بالعلاقـــة

$$Q_o = \sum_{i=1}^{i=n} U_i \cdot A_i \ (t_i - t_o)$$

حيث U_i عامل النفوذ الحرارى للسطح $[W/m^2 C^\circ]$

A_i مساحة السطح $[m^2]$

t_i درجة الحرارة الداخلية $[C^\circ]$

t_o درجة الحرارة الخارجية $[C^\circ]$ او درجة حرارة الاماكـــن المجاورة .

اما الضياع الحرارى الكلي فيعطى بالعلاقـــة

$$Q_t = Q_o \ (1 + \frac{P_{z1}}{100} + \frac{P_{z2}}{100} + \frac{P_{s1}}{100} + \frac{P_{s2}}{100})$$

حيث P_{z1} عامل الاضافة الناتج عن مدة تشغيل اجهزة التدفئة .

P_{z2} عامل الاضافة الناتج عن ايصال السطوح الى درجة الحـــرارة المناسبة .

P_{S1} عامل الاضـــافة الناتج عن توجيـــه السطح .

P_{S2} عامل الاضـــافة الناتج عن ارتفاع المكان المدفّأ .

ان عامل الاضافة الناتج عن مدة تشغيل اجهزة التدفئـــة P_{21} وعامل التشغيل P_{22} يعبر عنهما بعامـــل واحد

$$P_2 = P_{21} + P_{22}$$

قيمتـــه تتعلق بالدرجة الاولى بعامل النفوذ الحرارى الوسطي لجميـــع الســـطوح

$$U_C = \frac{Q_0}{\Sigma A_i \ (t_i - t_0)}$$

حيث t_0 درجة الحرارة الخارجيـــة التصميمية .

ويتعلق ايضا بعدد ساعات التدفئـــة . والجدول التالـــي يعطي قيم P_2 بالنسبة الى U_C والى عدد ساعات التدفئـــة .

عدد ساعات التدفئـــة خـــلال 24 ساعـــة	عامل الاضـــافة P_2 عند قيم النفوذ الحرارى الوسطي U_C			
	0,1 - 0,29	0,3 - 0,69	0,7 - 1,49	⩾ 1,5
أكثر من 20 ســـاعة	0	0	3	5
من 16 ولغايـــة 20 ساعة	5	5	5	8
من 12 ولغايـــة 16 ساعة	12	10	10	10
اقـــل من 12 ســـاعة	20	15	12	10

اما عامل الاضافة الناتج عن توجيهة الغرفة فيتعلق بالدرجة الاولى بتغير شدة الاشعاع الشمسي حسب توجيهة الغرفة . والجدول التالي يبين قيمة عامل الاضافة P_S .

اتجاه الغرفة	جنوب	ج غ	غرب	ش غ	شمال	ش ش	شرق	ج ش
قيمة P_S	-5	0	0	5	10	5	5	0

عند ما تكون للغرفة جهة واحدة خارجية فتعتبر هذه الجهة لحساب P_S ، اما عند وجود جهتين مختلفتين فنعتبر جهة الزاوية ، وعند تعرض الغرفة لثلاث جهات او اربع نختار اعلى قيمة الى P_S .

اما عامل الاضافة نتيجة الارتفاع عن سطح الارض فمن المعلوم انه بزيادة الارتفاع تزداد سرعة الرياح حسب العلاقة التالية

$$\frac{W_1}{W_2} = \sqrt[5]{\frac{h_1}{h_2}}$$

ويمكن الاعتماد على الجدول التالي لتعيين P_{S2} في الاماكن المعرضة للرياح

الارتفاع عن سطح الارض بـ m	4,5	5,4	6,3	7,2	8,1	9	10	11 وما فوق
عامل الاضافة P_{S2}	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20

٣ ـ ١ ـ ٢ ـ ٢ الضياع الحراري نتيجة تسرب الهواء (التهوية الطبيعية) :

وهي كمية الحرارة التي يفقدها المكان المدفأ واللازمة لرفع درجة حرارة الهواء الخارجي المتسرب من الشقوق والثقوب للنوافذ والابواب او نتيجة فتح واغلاق هذه النوافذ والابواب ويمكن حساب هذه الكمية من الحرارة من العلاقة التالية

$$Q_V = c \cdot \rho_o \cdot n \cdot o \ (t_o - t_i)$$

او

$$Q_V = c \cdot \rho_o \cdot V \ (t_o - t_i)$$

حيث n عدد مرات تغيير الهواء في الغرفة خلال ساعة واحدة (او خلال ثانية واحدة) .

o حجم الغرفة بـ m^3 .

V تدفق الهواء الخارجي بـ m^3/s .

c الحرارة النوعية للهواء بـ $J/kg\ C^\circ$.

ρ_o الكتلة النوعية للهواء kg/m^3 .

وعادة ما نختار عدد مرات تبديل الهواء في الساعة n نتيجة التهوية الطبيعية طبقا للجدول التالي

المكان	عدد مرات تبديل الهواء / ساعة نتيجة التهوية
مكاتب	1 – 2
معامل	1 – 1,5
غرف كبيرة	0,5 – 1
غرف جلوس	2
غرف نوم	1
اماكن بيع	2 – 3

ويمكن زيادة عدد مرات تبديل الهواء طبقا الى الارتفاع ونتيجة لتأثير الرياح ، علما بأن الضياع الحرارى المعادل لتبديل مرة واحدة من الهواء خلال ساعة يساوى تقريبا $0,34\ W/m^3\ C^\circ$

وهناك طريقة ثانية لحساب الضياع الحرارى نتيجة التسرب وهي طريقة الشقوق وتحسب من المعادلة التالية :

$$Q = c \cdot \rho_o (t_o - t_i) \Sigma (i \cdot \ell) \Delta p^{0,67}$$

حيث i عامل التهوية وقيمته نجدها من الجدول التالي

نوع النافذة او الباب		عامل التهوية $m^3 s^{-1}/m . P_a^{0,67}$
نافذة خشبية	عادية	$1,9 . 10^{-4}$
	بطبقتين	$1,2 . 10^{-4}$
نافذة معدنية	عادية	$0,9 . 10^{-4} - 2,4 . 10^{-4}$
	بطبقتين	$0,7 . 10^{-4} - 2,1 . 10^{-4}$
باب خارجي	غير محكم	$3,6 . 10^{-4}$
	محكم	$1,9 . 10^{-4}$

ℓ طول الشقوق بـ m .

Δp فرق الضغط على طرفي النافذة N/m^2 . ونجد قيمة $\Delta p^{0,67}$ حسب سرعة الرياح من الجدول التالي بفرض ارتفاع البناء اقل من $25\ m$. وفي حال زيادة الارتفاع عن $25\ m$ فان العامل $0,67$ يزداد ايضا .

مكان البنـــاء بالنسبة الى شـــدة الريـاح	وضع المكان	سرعة الهواء m/s	قيمة $\Delta p^{0,67}$
شـــدة الريـــاح عاديـــة	محميـة ضد الريـاح	1 – 4	3 – 4
	غير محمية ضد الرياح	6	6 – 8
	غير محمية من جميـع الاتجاهـــات	8	9 – 12
شـــدة الريـــاح قويـــة	محمية ضـد الريـاح	6	6 – 8
	غير محمية ضد الرياح	8	9 – 12
	غير محمية من جميـع الاتجاهـــات	10	12 – 16

٣ ـ ١ ـ ٣ حساب الضياع الحراري بحالات خاصة :

أ ـ عندما تكون الغرفة المدفأة تقع تحت سطح الارض فانه من الواجب حساب المقاومة الحرارية الى الجدران الملاصقة الى الارض حسب تركيبها الفعلي والمقاومة الحرارية للارض ويكون عامل النفوذ الحراري

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\Lambda_s} + \frac{1}{\Lambda_z}}$$

حيث α_i عامل انتقال الحرارة بالحمل على السطح الداخلي

Λ_s عامل الناقلية الحرارية thermal conductance للجدران الملاصقة للارض حسب تركيبها .

Λ_2 عامل الناقلية الحرارية لسطح الارض الملاصقة للجدران .

ان قيمة $\Lambda_s = \sum \frac{\lambda_i}{e_i}$ تابعة الى تركيب الجدران الافقية والشاقولية الملاصقة للارض .

وتؤخذ قيمة Λ_2 بالنسبة للارض الحصوية والرملية $1,163\ W/m^2C^\circ$

بالنسبة للارض الصخرية الصلبة $2,326-3,5\ W/m^2C^\circ$

ونفرض ان درجة حرارة الارض الوسطية مساوية الى $10\ C^\circ$

ب ـ عند حساب الضياع الحرارى للصالات الارضية بارتفاع اكثر من ثمانية امتار فان طريقة الحساب مشابهة للطريقة العادية ، ولكن وباعتبار ان درجة الحرارة الداخلية ترتفع مع الارتفاع عن سطح الارض فان الضياع الحرارى يحسب عند درجة حرارة داخلية بالشكل التالي :

ـ بالنسبة الى الجدران الشاقولية والابواب والنوافذ

$$t_{i1} = t_i + 0,25\ (h - 2)$$

ـ بالنسبة الى السطح (السقف)

$$t_{i2} = t_i + 0,5\ (h - 2)$$

حيث h الارتفاع الوسطي للصالة بـ m .

t_i درجة الحرارة الداخلية على ارتفاع $2\ m$ من سطح الارض .

اما بالنسبة الى الصالات التي تقع تحت سطح الارض فانه يوصى باستعمال عامل انتقال الحرارة بالحمل للسطح الداخلي α_i بقيمة اقل من القيم المعتادة وذلك لانخفاض عامل انتقال الحرارة بالاشعاع وحسب النسبة التالية بين سطح الجدران وسطح الارض .

سطح الجدران / سطح الارض	1	2	3
α_i	8,5	5,9	5

٣ ـ ١ ـ ٤ المعلومات المطلوبة عند حساب الضياع الحراري :

عند حساب الضياع الحراري يلزم الى المصمم المعلومات التالية

١ ـ مخطط اجمالي للبناء محدد علية الاتجاهات والارتفاع عن سطح البحر والمسافة بينه وبين الابنية المجاورة ، اتجاه وشدة الرياح .

٢ ـ مخططات مساقط الطوابق محدد عليها المقاييس الرئيسية للجدران والنوافذ والابواب .

٣ ـ مقطع في البناء .

٤ ـ معلومات عن مواد البناء التي يتألف منها الجدران ، الارض ، السقف .

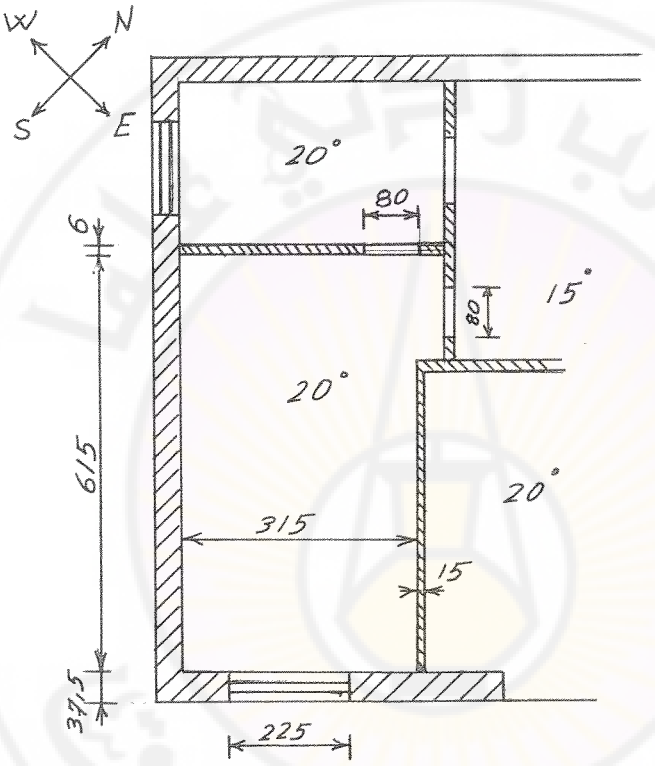
٥ ـ معلومات عن مواد صنع النوافذ والابواب .

٦ ـ معلومات عن استعمال الغرفة .

٧ ـ معلومات عن درجات الحرارة الداخلية والخارجية التصميمية ودرجات الحرارة في الغرف المجاورة الغير مدفأة .

١٥ ـ ١ ـ ٥ مثال :

احسب الضياع الحراري للغرفة رقم 1 الموجودة في بيت سكني وفي الطابق الاخير ارتفاعه عن الارض 8 m ، مدة عمل التدفئة 16 ساعة في اليوم .



الجدران الخارجيـــــة من الآجـــر المفـــرّغ

النوافذ الخارجيـــة من الخشـــب وبطبقتيـــن مـن الزجاج

السطح الاخير بعامل نفوذ حرارى $U = 1,3\ W/m^2 C^\circ$

درجة الحرارة الخارجية التصميمية $-15\ C^\circ$

درجة الحرارة الداخلية المعتبـــرة $20\ C^\circ$

ارتفاع الغرفـــــــــة $3\ m$

البنـــاء موجود في منطقة جديدة وشدة الرياح متوســـطة .

الحـــــــــل :

بعد حساب عوامل النفوذ الحرارى للجدران الخارجيـــــــــة والداخليـــة والسقف وللنوافذ والابواب ،ندون النتائج في الجدول التالي:

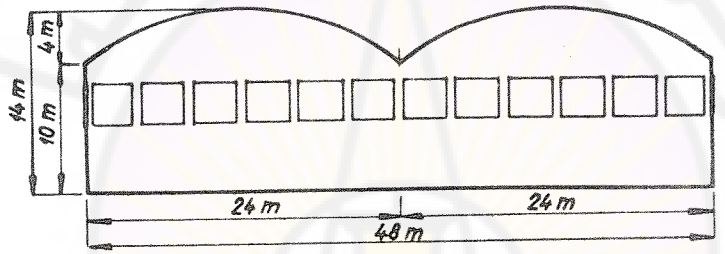
درجة الحرارة الداخلية 20 c° حجم الغرفه $= 55 m^3$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
										Q_2	Q_{12}	Q_{23}	$Q = Q_t + Q_v$
	m	m	m^2	m^2	m^2	$W/m^2c°$	c°	W/m^2	N				
ES	3,15	3	9,45	3,4	6,1	1,2	35	42	255	$U_c = \frac{2358}{98,2.35} = 0,68$			
SW	6,45	3	19,35	-	19,35	1,2	35	42	815				
W.E	2,25	1,5	3,4	3,4	3,4	2,9	35	101	345				
D.N	0,8	2	1,6	1,6	1,6	2,3	5	11,5	90				
Roof	6,45	3,15	20,3	-	20,3	1,3	35	45,5	924	10	-5	10	
									2358				$Q_t = 3537$
													$Q_v = 641$
													4178

$$Q_v = \frac{1000 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 55 \,(20 + 15)}{3600} = 641$$

مثـــــال :

احسب كمية الحرارة اللازمة لتدفئة صالة صناعية مقطعها العرضي كما في الشكل ، وطولها الكلي 120 m وعرضها 48 m وارتفاعها الكلـــي 14 cm .



مساحة الارض	$A_1 = 5760 \ m^2$
المساحة الكلية للجدران	$A_2 = 3360 \ m^2$
مساحة الجدران بدون النوافذ	$A'_2 = 2500 \ m^2$
مساحة النوافذ في الجدران	$A''_2 = 860 \ m^2$
مساحة السقف	$A_3 = 6240 \ m^2$
عامل النفوذ الحراري لارض البناء	$U_1 = 1,3 \ w/m^2 \ C^\circ$
عامل النفوذ الحراري للجدران	$U'_2 = 1,8$ "
عامل النفوذ الحراري للنوافذ	$U''_2 = 5,7$ "
عامل النفوذ الحراري للسقف	$U_3 = 2,3$ "

درجة الحرارة الداخلية على ارتفاع 2m من الارض $t_i = 18 \ C^\circ$ ، كميـة تدفق هواء التسرب $V = 20000 \ m^3/h = 5,55 \ m^3/s$

درجة الحرارة الخارجيـــــة $-15 \ C^\circ$

الحـــــــل :

$$t_{i1} = t_i + 0,25\,(h-2) = 18 + 0,25\,(10-2) = 20^{\circ}C$$

$$t_{i2} = t_i + 0,5\,(h-2) = 18 + 0,5\,(12,5-2) = 23,25^{\circ}C$$

عامل النفـــــوذ الحرارى لأرض الصـــــالة

$$U_{1a} = \frac{1}{\frac{1}{U_1} + \frac{1}{\Lambda_2}} = \frac{1}{\frac{1}{1,3} \quad \frac{1}{1,163}} = 0,565\ W/m^2{}^{\circ}C$$

بفرض ان الارض رمليـــة وجافـــة .

ومنه الضـــياع الحرارى من ارض الصالـــة .

$$Q_1 = U_{1a} \cdot A_1\,(t_i - t_2)$$

$$= 0,565 \cdot 5760\ (18-10) = 26800\ W$$

الضـــياع الحرارى للجـــدران الشاقوليـــة

$$\acute{Q}_2 = \acute{U}_2 \cdot \acute{A}_2\,(t_{i1} - t_o)$$

$$= 1,8 \cdot 2500\ (20+15) = 157500\ W$$

الضياع الحرارى للنوافـــــذ

$$\acute{\acute{Q}}_2 = \acute{\acute{U}}_2 \cdot \acute{\acute{A}}_2\,(t_{i1} - t_o)$$

$$= 5,7 \cdot 860\ (20+15) = 171500\ W$$

الضـــياع الحـــرارى للســـقف

$$Q_3 = U_3 \cdot A_3\,(t_{i2} - t_o)$$

$$= 2,3 \cdot 6240\ (23,25+15) = 550000\ W$$

الضـــــياع الحـــــرارى الكلـــــــي

$$Qt = Q_1 + \acute{Q}_2 + \acute{\acute{Q}}_2 + Q_3 =$$

$$= 26000 + 157500 + 171500 + 50\,0000 = 905000W$$

الضـــــياع الحرارى الناتـــــج عن التهويـــــة

$$Q_V = c \cdot \rho \cdot V \ (t_{i1} - t_o)$$

$$= 1000 \cdot 1{,}2 \cdot 5{,}55 \ (20 + 15) = 233100 \ W$$

كميـــة الحـــــرارة الكليـــــة اللازمـــــة للتدفئـــة

$$Q = Qt + Q_V = 905000 + 233100 = 1138100$$

كميـــة الحرارة النوعيـــــــة

$$q = \frac{Q}{O} = \frac{1138\,100}{7{,}2 \cdot 10^4} = 15{,}8 \ W/m^3$$

حيث O حجـــــم الصـــــالة .

٣ ــ ٢ دراسة الاستطاعة الحرارية من الاجسام المشعـــة :

عند حساب الاستطاعة الحرارية للاجسام المشعة تنطلـق مـن المعادلـــــة

$$Q = U \cdot A \ (t_m - t_i)$$

حيث U عامل النفوذ الحرارى للجسم المشع .

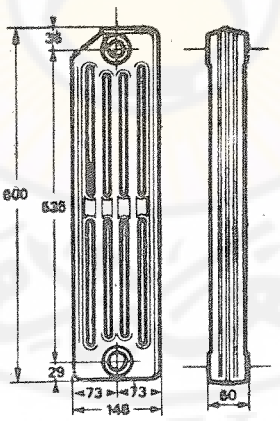
A مساحة سطح الجسم المشـــع .

t_m د رجة الحرارة الوسطية لوسيط التسخين ،

t_i د رجة حـــرارة الغرفـــة .

ان عامل النفوذ الحرارى U للاجسام المشعة والغير مغطـاة يتعلق بالد رجة الاولى بشكل ومقاييس الجسم المشع وبفرق د رجات الحـــرارة $\Delta t = t_m - t_i$ وغيرها من العوامل الثانويـــة

ولتعيين مواصفات الجسم المشع يجب معرفة عامل النفوذ الحرارى U او الا ستطاعة الحرارية النوعية q للمشع بالنسبة الى $1m^2$ مـــن سطحه او الا ستطاعة الحرارية النوعية q لمقطع واحد من المشع . وبالنسبـة للمشعات ذات المقاطـع والاصـابع



فان الشركات الصانعة تعطي استطاعة 10 مقاطع منه وسطحها A عند فـــرق د رجات حرارة $t_m - t_i$ ومنه يمكن حساب عامل النفوذ الحرارى $U_n = \frac{Q}{A(t_m - t_i)}$

او الاستطاعة الحرارية النوعية q_n للمشع

$$q_n = U \cdot (t_m - t_i) = \frac{Q}{A}$$

وعادة تكون هذه المواصفات عند درجة حرارة وسطية لوسيط التسخين

$$t_m = \frac{t_1 - t_2}{\ln \frac{t_1 - t_i}{t_2 - t_i}} \doteq \frac{t_1 + t_2}{2}$$

عند التسخين المائي

$$t_m \doteq \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{90 + 70}{2} = 80$$

وعند التسخين بالبخار بضغط منخفض

$$t_m = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{110 + 90}{2} = 100$$

ودرجة حرارة الغرفة $t_i = 20\ c^\circ$

ومنه وعند ما تكون التدفئة بالماء

$$\Delta t_n = t_m - t_i = 80 - 20 = 60\ c^\circ$$

وعند ما تكون التدفئة بالبخار بضغط منخفض

$$\Delta t_n = t_m - t_i = 100 - 20 = 80\ c^\circ$$

وفي حالة الاختلاف عن الشروط المذكورة يكون عامل النفوذ الحرارى

$$U = U_n \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_n}\right)^K$$

$$q = q_n \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_n}\right)^{K+1}$$

حيث قيمة العامل K بالنسبة الى المشعات ذات المقاطع والاصابع $K = 0,33$

بالنسبة الى المشعات ذات الانابيب $K = 0,25$

بالنسبة الى مشعات تيارات الحمل $K = 0,25 \div 0,4$

هذا وان كمية تدفق الماء الى المشع ذى المقاطع (سرعة الماء) وطريقة تركيب المشع وربطه مع انابيب التغذية ومع انابيب الرجوع لها تأثير ثانوى على المشع ، وانصح بزيادة استطاعة المشع بقيمة من 5-10% كعامل امان لتغطية هذه العوامل .

مثال :

احسب الجسم المشع الى غرفة الضياع الحرارى الكلي لها $Q = 2700\ W$ ، من النموذج ذى المقاطع والاصابع . الاستطاعة النوعية لمقطع واحد $q_n = 134\ W$ عند ما تكون $\Delta t_n = 60\ c^\circ$ وعامل النفوذ الحرارى $U_n = 8,25\ W/m^2 c^\circ$

درجة حرارة ماء التغذية $t_1 = 110\ c^\circ$

درجة حرارة ماء الرجوع $t_2 = 70\ c^\circ$

$$\Delta t = \frac{t_1 - t_2}{\ln \frac{t_1 - t_i}{t_2 - t_i}} = \frac{110 - 70}{\ln \frac{110 - 20}{70 - 20}} = 68,3\ c^\circ$$

$$q = q_n \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_n}\right)^{1+0,33} = 134 \left(\frac{68,3}{60}\right) = 159\ W$$

اى انه في المواصـــفات المطلوبة فان مقطع واحد يبث 159 W

$$U = U_n \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_n}\right)^n = 8,25 \left(\frac{68,3}{60}\right)^{0,33} = 8,6 \ W/m^2 C^\circ$$

اى ان عامل النفوذ الحرارى في المواصفات المطلوب $8,6 \ W/m^2 C^\circ$

عدد المقاطـــع الواجب تركيبهـــا $\frac{2700}{159} = 17$

يضاف الى هذا العدد عامل امان يتراوح بيـــــن $5-10\ \%$

$$17 \times \frac{10}{100} = 1,7$$

$$17 + 1,7 = 18,7$$

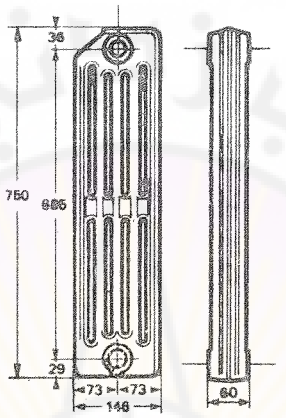
نختـــــار 19 مقطع ويكون البث الحـــرارى

$$19 \times 159 = 3021 \ W$$

٣ ـ ٢ ـ ٢ الاجسام المشعة ذات المقاطع والاصابع :

تصنع هذه الاجسام من الفونت او من الحديد . وتعطـــي الشركات عامل النفوذ الحرارى U ، او الاستطاعة النوعيـة q بالنسبة الى مقاييسه وهي الارتفاع الاسمي a والعمق b للمقطع الواحد .

ان الاستطاعة الحرارية التي تعطيها الشركات الصانعـــــة صحيحة فقط عند شروط القياس المبينة من الصانع وعند اختلاف شروط التشغيل عن شروط القياس يجب تصحيح الاستطاعة الحرارية المدونة في جـــــد اول الشركات الصانعـــة بعوامل التصليح وهـــي :



عامل التصحيح لكمية تدفق ماء التسخين z_1

عامل التصحيح لعدد مقاطع الجسم المشع z_2

عامل التصحيح لطريقة تغطية المشع z_3

ان عامل التصحيح z_1 يعبر عن تأثير تدفق الماء في المشع وبالتالي تساوى درجة الحرارة السطحية على المشع واستطاعته الحرارية . يحسب هذا العامل بدلالة نسبة التدفق الحقيقي $m\ [kg/s]$ والتدفق العادى الذى قيست عنده استطاعة المشع $m_n\ [kg/s]$

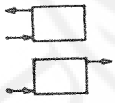
فرق درجات حرارة بين ماء التغذية وماء الرجوع $\Delta t_1 = t_1 - t_2 = 20\,c^\circ$

وفرق درجات حرارة بين درجة حرارة الماء الوسطية والغرفة $\Delta t = t_m - t_i = 60\,c^\circ$ ، اى

$$\frac{m}{m_n} = \frac{\frac{U.\Delta t}{\Delta t_1}}{\frac{U_n.60}{20}} = \frac{U.\Delta t}{3U_n.\Delta t_m}$$

ان الجدول التالي يعطي قيم z_1 لثلاث طرق مستعملة لتوصيل المشعات .

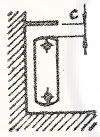
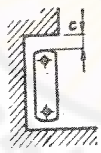
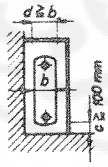
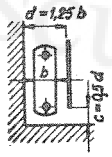
ملاحظة : في حال استعمال البخار كوسيط للتسخين فان $z_1 = 1$

	$\frac{U \cdot \Delta t}{3\,U_n \cdot \Delta t_m}$													
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	2	3	4	5	6	7	>7
	z_1													
	0,83	0,86	0,890	0,910	0,93	0,970	1,00	1,02	1,03	1,040	1,05	1,055	1,06	1,07
	0,69	0,73	0,765	0,790	0,82	0,860	0,90	0,93	0,95	0,970	0,98	0,990	1,00	1,02
	0,64	0,69	0,720	0,745	0,77	0,815	0,85	0,88	0,90	0,915	0,93	0,940	0,95	0,96

اما العامل z_2 فيتعلق بعدد مقاطع الجسم المشع والاستطاعة النوعية q . والجدول التالي يبين قيم z_2

عـــــدد المقـــــاطع								
2	3	4	5	6	7-11	12-14	15-18	19-25
z_2								
1,04	1,04	1,03	1,02	1,01	1,0	0,99	0,98	0,97

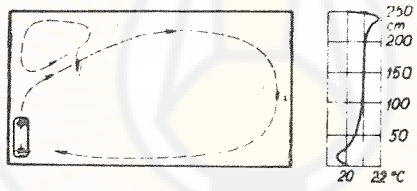
اما العامل z_3 فيتعلق بطريقة تغطية المشع والجدول التالي يبيـــــن قيم z_3 بالنسبة الى عدة انواع من التغطيـــــة

طريقـــة التغطيـــة		z_3				
1		c [mm]	40	60	80	100
		z_3	0,95	0,96	0,97	0,98
2		c [mm]	40	60	80	100
		z_3	0,90	0,92	0,94	0,95
3		0,87				
4		1,10				
5	دهان معدني	0,90				

من معرفة العوامل التصميمية السابقة نحسب الاستطاعة النوعية للمشع من العلاقة

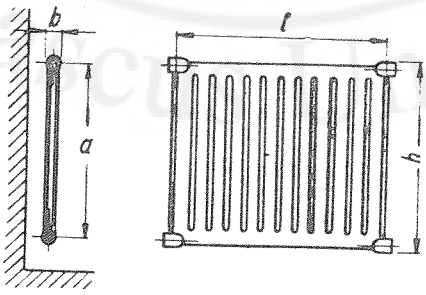
$$q = q_n \cdot z_1 \cdot z_2 \cdot z_3$$

تركب هذه المشعات عادة بحيث تعطي افضل تأثير حراري وفي اكثر الاحيان قرب الجهة المعرضة للجو الخارجي تحت النافذة للمحافظة على توزيع جيد للحرارة . والشكل التالي يبين جريان الهواء وتدرج درجات الحرارة لمشع مركب تحت النافذة مباشرة .



٣ ـ ٢ ـ ٣ الاجسام المشعة المسطحة :

ان الاجسام المشعة المسطحة تتألف من صفائح معدنية ذات سطح مستو او متموج قليلا ، كما في الشكل :



عامل النفوذ الحراري u والاستطاعة الحرارية النوعية تتعلق بالارتفاع h وطبقا الى التجارب الالمانية فان هذه العلاقة هي بالشكل التالي :

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{q_1}{q_2} = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^n$$

حيث قيمة العامل n تتراوح بين $n = 0,85 \div 0,95$. وعند حساب الاستطاعة الحرارية النوعية بشروط تختلف عن شروط القياس نستعمل نفس شروط التصحيح التي استعملت في المشعات ذات المقاطع .

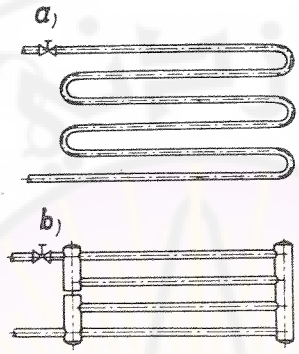
من ميزات هذه المشعات عمقها القليل وسهولة تنظيفها علما ان الاستطاعة الحرارية النوعية q لها منخفضة ولهذا يجب استعمال مشعات طويلة وتصنع عادة من الصاج سماكة 1mm او 1,5 mm .

يتم انتقال الحرارة على الواجهة الامامية من المشع بواسطة الاشعاع ومن الواجهة الخلفية بواسطة الحمل بحيث يجب ان تكون المسافة بين الواجهة الخلفية والجدار اكثر من 5 cm .

تستعمل هذه المشعات في الغرف ذات النوافذ الكبيرة وفي الغرف التي يطلب فيها نظافة جيدة ، او في الابنية التي يتطلب استعمال هذه المشعات لمطابقتها للمواصفات المعمارية للبناء .

٣ ـ ٢ ـ ٤ المشعات الانبوبية :

ان هذه الطريقة من المشعات تعتبر اسهل طريقة وتتألف من انابيب ملساء بقطر من 30 ÷ 60 mm ، كما في الشكل :



وتعطى الاستطاعة الحرارية النوعية بالنسبة الى 1m من الانبوب ويجب اجراء بعض التصحيحات على هذه الاستطاعة حسب نوع وطريقة تركيب الانبوب . تستعمل هذه المشعات في الصالات الصناعية وفي الغرف المساعدة . ويمكن استعمال ماء او بخار كوسيط للتدفئة . كما يمكن تركيب شفرات على سطحها لزيادة استطاعتها الحرارية .

٣ ـ ٢ ـ ٥ مشعات دارات الحمل Convectors :

تتألف هذه الطريقة من انابيب مركب عليها شفرات ومحاطة بصندوق معدني يحوى فتحات سفلية وفتحات علوية ويساعد على انتقال الحرارة بالحمل فقط ومنه اشتقت التسمية .

ويمكن ان يكون جريان الهواء ضمن الصندوق طبيعيا او عن طريق استعمال مروحة ، ويمكن التحكم باستطاعة المشع بواسطة الصمامات (تغيير تدفق الماء) او بتغيير كمية الهواء التي تدخل من الاسفل بواسطة دامبر هوائي . تستعمل هذه المشعات الماء او البخار كوسيط للتدفئة

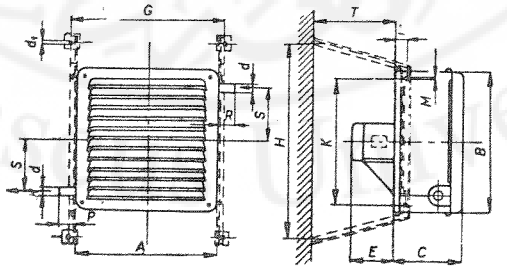
وتستعمل في الاماكن العامة،وصالحة عند التدفئة المتقطعة .

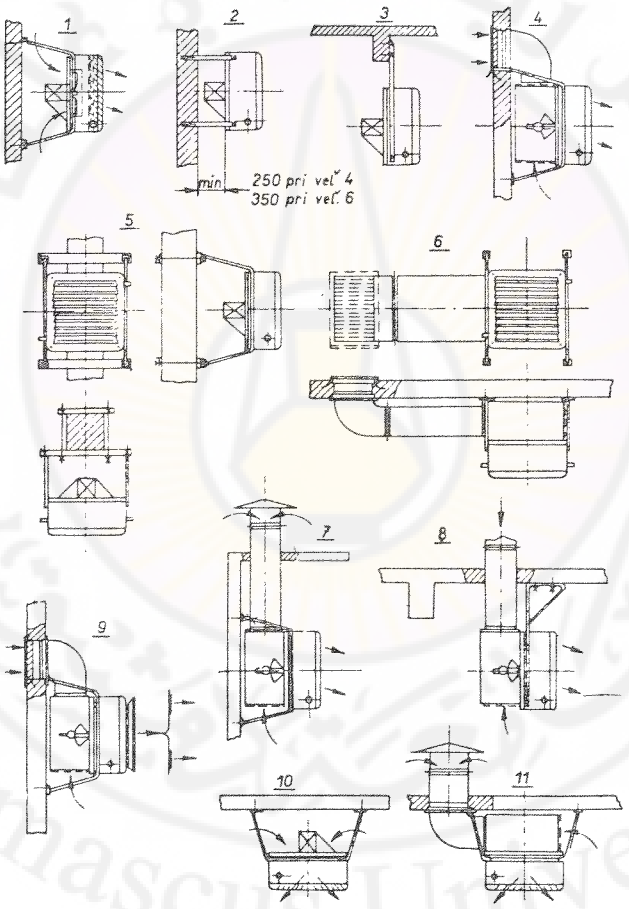
٣ ـ ٢ ـ ٦ وحدات التدفئة Airo term :

تتألف هذه الوحدة من وشيعة تسخين ومروحة لدفع الهواء خلال الوشيعة ، ويمكن ان يتم توجيه الهواء بواسطة موجهات توضع على فتحة خروج الهواء. تركب هذه الوحدات اما على الجدران او السقف . تصنع هذه الوحدات بمقاييس واشتطاعات مختلفة ومتنوعة ويمكن ان تستعمل الماء الساخن او البخار .

ينمكن ان تستعمل هذه الوحدات هواءً داخلياً فقط (هواء معادا) او هو خارجي او هواء داخلياً وهواء خارجياً بنسبة مزج معينة .

والشكل التالي يبين تركيب هذه الوحدات.




1
2
3
4
min
250 pri vel. 4
350 pri vel. 6
5
6
7
8
9
10
11

٣ ـ ٣ حساب اقطار انابيب التدفئة المركزية بالماء الساخن :

لحساب اقطار انابيب التدفئة المركزية، يجب الرجوع الى قوانين جريان الموائع والمشروحة بشكل موسع في الفصل (١٤) من هندسة تكييف الهواء.

توجد طريقتان عند حساب شبكة التدفئة المركزية

أ ـ من اجل شبكة انابيب معطاة معروف اطوال واقطار اجزائها وعدد ونوع المقاومات المكانية، والتدفق، ونوع وسيط التسخين، يطلب حساب الضياع الضغطي الكلي لها ΔP_t .

ب ـ من اجل شبكة انابيب معطاة بأطول اجزائها وعدد ونوع المقاومات المكانية، والتدفق ونوع وسيط التسخين وانخفاض الضغط، يطلب حساب اقطار هذه الشبكة.

ننطلق عند اجراء الحسابات من معادلة Darcy-Weisbach

$$\Delta P_{fr} = f \frac{L}{d} \frac{W^2}{2} \rho = \Delta P . L \quad N/m^2$$

حيث ΔP الضياع الضغطي الناتج عن الاحتكاك لمتر طولي واحد Pa/m

f عامل الخشونة ويساوى الى $f = \frac{64}{Re}$

Re رقم رينولس ويساوى $Re = \frac{W . d . \rho}{\eta}$

تحسب سرعة التدفق من العلاقة

$$W = \frac{m}{\rho \frac{\pi d^2}{4}} = \frac{m}{0,785 . \rho . d^2}$$

بتعويض سرعة التدفق في رقم رينولس نحصل على

$$Re = \frac{\frac{m}{0,785 . \rho . d^2} . d . \rho}{\eta}$$

$$Re = \frac{\frac{m}{0,785 \cdot \rho \cdot d^2} \cdot d \cdot \rho}{\eta}$$

ومنـــه $m = Re \cdot \eta \cdot 0,785 \cdot d$

$$\Delta p = \frac{\Delta p_{fr}}{L} = f \cdot \frac{1}{d} \left(\frac{m}{2 \cdot 0,785 \cdot \rho \cdot d^2} \right)^2 \cdot \rho$$

$$\Delta p = \frac{8,53 \cdot f \cdot m^2}{10^3 \cdot \rho \cdot d^5}$$

وعنـــد تعويض قيمة ρ وقيمة η عند درجـة حرارة وسطية مساوية الى $80\,C^\circ$ نحصـــل على ،

$$\Delta p = \frac{8,775 \cdot f \cdot m^2}{10^6 \cdot d^5}$$

وبالنســبة الى البخـــار بضغـــط $1,1\ bar$

$$\Delta p = \frac{1,5 \cdot f \cdot m^2}{10^2 \cdot d^5}$$

من هذه المعادلـــة يمكن حساب القطر من معرفة الضياع الضغطـــي الناتج عن الاحتكاك لكل متر طولي ومعرفة التدفق m وعامل الاحتكاك f.

ان المعادلات السابقة صالحة عند جريان سـائل متجانـــس وخشونة متجانسة على طول الانبوب . اما عند حدوث تبخر او تكاثف اثنـــاء الجريان فانه لا يمكن تطبيق تلك المعادلات .

وضعت جداول ومخططات تمكن من حساب الضياع الضغطـــي

الناتج عن الاحتكاك ΔP بمعرفة القطر d ، والتدفق الكتلي m ، او حساب القطر بمعرفة (بفرض) ضياع ضغطي ΔP ومعرفة التدفق الكتلي m.

ان هذه الجداول موضحة في مرجع IHVE C4 . عند درجة حرارة وسطية للماء $75C^{\circ}$ و $10C^{\circ}$ وللانواع الثلاث المستعملة من الانابيب الفولاذية .

عادة ما نختار انخفاض ضغط يتراوح بين $100 \div 300\ Pa$ بحيث يجب الا تزيد سرعة الجريان عن حدود معينة وحسب الجدول التالي

التدفئة بالماء	عند الجريان الطبيعي	$W = 0,05 \div 1\ m/s$
	عند الجريان القسرى	$W = 0,5 \div 3\ m/s$
التدفئة بالبخار	عند ضغط منخفض	$W = 10 \div 25\ m/s$
	عند ضغط متوسط	$W = 20 \div 50\ m/s$
	عند ضغط عال	$W = 30 \div 70\ m/s$

اما حساب الضياعات المكانية الناتجة عن وجود الصمامات والاجسام المشعة والمراجل وغيرها فتحسب بمعرفةالطول المكافئ للانابيب (ومجارى الهواء) والذى يساوى الطول الذى يؤدى الى انخفاض ضغط بالاحتكاك مساويا الى الضغط الديناميكي .

من المعادلة

$$\Delta P_{fr} = f \frac{L}{d} \frac{w^2}{2} \cdot \rho$$

وعند ما يكون الضغط الديناميكي مساويا الى انخفاض الضغط الناتج عن الاحتكاك

$$1 = f \frac{L}{d}$$

ومنه $$l_e = \frac{d}{f} \quad [m]$$

يمكن حساب الطول المكافىء ايضا من المعادلة

$$l_e = \frac{0,81 \cdot m^2}{\Delta p \cdot \rho \cdot d^4} = \frac{0,81 \cdot \rho \cdot V^2}{\Delta p \cdot d^4}$$

اما الطول المكافىء للضياعات المكانية فيحسب من المعادلة

$$l_z = l_e \cdot \xi$$

حيث ξ عامل المقاومة المكانية. تحسب قيمته بالتجربة ونجدها في الجداول الخاصة بالنسبة لمختلف الضياعات المكانية.

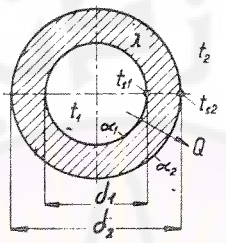
من المعادلة الاخيرة نلاحظ اهمية الطول المكافىء لأن معرفته ومعرفة عامل المقاومة المكانية تمكننا من معرفة المقاومة المكانية بالمتر الطولي.

٣ ـ ٣ ـ ١ حساب الضياع الحراري من الانابيب:

ان الضياع الحراري من الانابيب يحسب من العلاقة:

$$Q = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2}} \cdot l \cdot (t_1 - t_2)$$

$$Q = U_o \cdot l \, (t_1 - t_2) \quad [W]$$



حيث

$$U_\Theta = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_1}}$$

عامل النفوذ الحرارى للانبوب بالنسبة الى $1\,m$ من طولـــه وفي حـــال وجود عدة طبقات على الانبوب يكـــون :

$$U_\Theta = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \Sigma \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d''}{d'} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2}}$$

مثـــــال :

انبوب قطره الداخلي $d_1 = 64\,mm$ وقطره الخارجـــــي $d' = 70\ mm$ وقطر العازل المحيط به $d_2 = 170\ mm$ ، عامـــل التوصيل الحرارى الوسطي للانبوب $\lambda_1 = 40\ w/m\,c^\circ$ وعامل التوصيـــل الحرارى الوسطي للعازل $\lambda_2 = 0{,}06\ w/m\,c^\circ$ ، عامل انتقال الحـــرارة بالحمل من السطح الداخلي للانبوب $\alpha_1 = 1000\ w/m^2.c^\circ$ وعامـــل انتقال الحرارة بالحمل من السطح الخارجي $\alpha_2 = 10\ w/m^2.c^\circ$

والمطلـــــوب حســـاب عامل النفوذ الحـــــرارى U_o

الحـــــل :

$$\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} = \frac{1}{1000 \cdot 0,064} = 0,0156$$

$$\frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d'}{d_2} = \frac{1}{2 \cdot 40} \ln \frac{0,07}{0,064} = 0,00115$$

$$\frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{d_2}{d'} = \frac{1}{2 \cdot 0,06} \ln \frac{0,17}{0,07} = 7,38$$

$$\frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2} = \frac{1}{10 \cdot 0,17} = 0,59$$

من ملاحظة القيم الســـابقة نجد أنه يمكن اهمال قيمـة المعادلتيـــن الاولى والثانية بحيث تصبح المعادلة بالشـــكل التالـــي

$$U_o = \frac{\pi}{\frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{d_2}{d'} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2}}$$

وغالبا ما تكون قيمة α_2 تابعة الى وضع الانابيب (افقية او شاقوليـــــة) وتابعة لدرجة الحرارة المحيطية، وعامل الاصدار، وسرعة الهـــواء

توجد جداول في مرجع *I HVE C4* تعطي الضياع الحـــرارى من الانابيب الافقية بدلالة القطر الاسمي للانبوب،وفرق درجة حرارة سطـــح الانبوب،والوسط المحيط به.بفرض ان درجة حرارة الوسط المحيط بالانبوب هي

$20C^{\circ}$. وفي حال الانابيب الشاقولية فانه يجب اجراء تصحيح على القيم المبينة في الجدول .

اما الضياع الحرارى من الوصلات والصمامات وغيرها فيمكن حسابها بشكل تقريبي وكأنها تساوى الضياع الحرارى للطول المكافئ للمقاومة المكانية .

مثال :

احسب الضياع الحرارى من انبوب طوله 50 m وقطره الداخلي 62 mm والخارجي 70 mm . درجة حرارة الماء داخل الانبوب $t_1 = 90C^{\circ}$ ودرجة حرارة الوسط المحيط $15\ C^{\circ}$. الانبوب معزول بواسطة عازل سماكته 50 mm وعامل التوصيل الحرارى له $\lambda = 0,06\ W/mC$. يوجد على طول الانبوب اربع وصلات وصمامين جارور .

الحل :

$$U_o \doteq \frac{\pi}{\frac{1}{2.0,06} \ln \frac{0,17}{0,07} + \frac{1}{10.0,17}}$$

$$= \frac{\pi}{7,4 + 0,59} = 0,393\ W/m\,C^{\circ}$$

يحسب الضياع الحرارى بالنسبة الى طول	50	m
والطول المكافئ لأربع وصلات	2	m
والطول المكافئ لصمامين	6	m
	58	m

ومنـــــه يكون الضـــياع الحـــرارى

$$Q = U_o \cdot \ell \cdot (t_1 - t_2) =$$

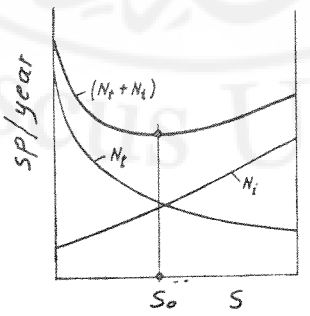
$$= 0,393 \cdot 58 \ (90 - 15) \doteq 1710 \ W$$

٣ ـ ٣ ـ ٢ حسلب سماكة العازليـــة الاقتصاديـــة للأنابيب :

تحسب السماكة الاقتصادية للعازل S_o بحيث يكون مجمـــوع المصروفات السنوية الناتجة عن الضياعات الحرارية ، والمصروفات السنويـــة الناتجة عن وجود العازل اقل ما يمكـــــن .

يمكن تعيين ذلك حسابيا او بواسطة الرسم البياني . عنـــــد تعيين العازلية الاقتصادية بيانيا . نرسم على المحور الافقي سماكة العـــازل S وعلى المحور الشاقولي مجموع المصروفات السنوية الناتجة عن الضياعـــات الحرارية N_t بالنسبة الى سماكة العازل ، والمصروفات السنوية الضائعـــة الناتجة عن وجود العازل N_i بالنسبة الى سماكة العازل .

يتم تعيين السماكة الاقتصادية S_o بحيث يكون مجموع المنحنيين $N_t + N_i$ اقل ما يمكن كما يبينـــــه الشـــكل



حيث

$$Nt = \frac{Uo \cdot \Delta t \cdot \gamma \cdot Ct}{10^6} \quad S.p/m.year$$

$$Ni = Ci \cdot a = (m + n \cdot s)\ell \cdot a \quad sp/m\ year$$

حيث Uo عامل النفوذ الحراري لمتر واحد من الانبوب $W/m.C^\circ$

Δt فرق درجة الحرارة بين وسيط التسخين والجو المحيط

γ عدد ساعات التشغيل في السنة $[h]$

Ct سعر الحـــرارة $S.p/Mega\ joul$

Ci المصروفات على العـــزل sp/m

m المصروفات الثابتـــة $S.p/m^2$

n المصروفات المتغيرة والتي تتعلق بسماكة العازل $S.p/m^2.m$

s سماكة العـــازل m

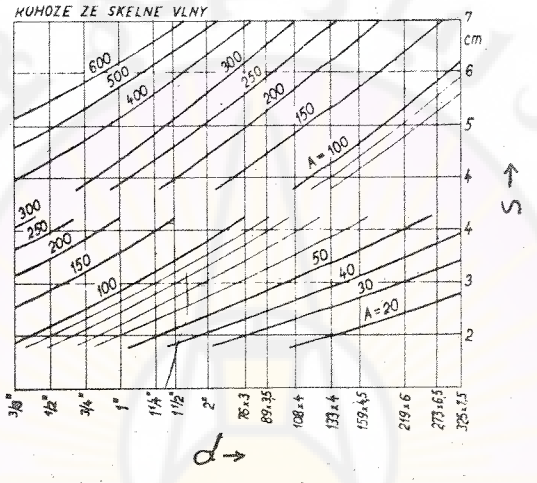
ℓ طول الانبـــوب المعزول

a استهلاك العازليـــة %

يتم اختيار عدد ساعات التشغيل السنوية حسب طبيعة المكان المدفـــأ واسعار الحرارة Ct وحسب طريقة التدفئة وحجمها والوقود المستعمل . اما استهلاك العازلية فغالبا ما تكون $a = 0,1$ اى انه يتم استهلاك العـــازل بعد 10 سنوات . وقيمة Ci وكذلك مركبة الاسعار الثابتة m ومركبة الاسعار المتغيرة n فنجدها في كاتالوجات الشركات الصانعة .

ان تعيين سماكة العازلية الاقتصادية بواسطة الرسم البيانـــي عملية طويلة ومعقدة وذلك لوجوب حساب Nt و Ni لعدة سماكات ،ولعدة انواع من العوازل .

لتسهيل حساب S_o بالنسبة الى الانواع المستعملة من العوازل يمكن الاعتماد على المخططات التي تساعد على ذلك . والشكل التالي



يبين سماكة العازلية الاقتصادية الى الفيبركلاس بالنسبة الى قطر الانبوب والعامل A الذى يحسب من العلاقة

$$A = \frac{\Delta t \cdot \tau \cdot Ct}{10^6 \cdot a}$$

اما الحساب المباشر لسماكة العازلية الاقتصادية لسطح مستو او منحن قليلا فيحسب من العلاقة :

$$S_o = \sqrt{\frac{\lambda \cdot \Delta t \cdot \tau \cdot Ct}{10^6 \cdot n \cdot a}} - \left(\frac{\lambda}{\alpha_1} + \frac{\lambda}{\alpha_2}\right)$$

حيث λ عامل التوصيل الحرارى للعازل .

α_1 عامل انتقال الحرارة بالحمل على السطح الداخلي .

α_2 عامل انتقال الحرارة بالحمل على السطح الخارجي .

n المصروفات المتغيرة والتي تتعلق بسماكة العازلية .

مثـــال :

انبوب قطره $50\ mm$ ، يطلب حساب سماكة العازليـــة الاقتصادية عند فرق درجات حـرارة $\Delta t = 90^{\circ}c$ وعند عمل سنوي لأجهـــزة التدفئة $\tau_1 = 2500\ h$ وعمل سنوي $\tau_2 = 8800\ h$ ، علما بأن ســـعر الحرارة $C_t = 10\ Sp/M.J$ وقيمته $\alpha = 0,1$ والعازلية المستعملة مـــن الفيبر كلاس .

الحـــل :

عنـــد عمل 2500 ساعة نجد ان قيمة A_1 هي

$$A_1 = \frac{90 \cdot 2500 \cdot 60}{10^6 \cdot 0,1} = 135$$

عنـد عمل 8800 ساعة نجد ان قيمـــة A_2 هي

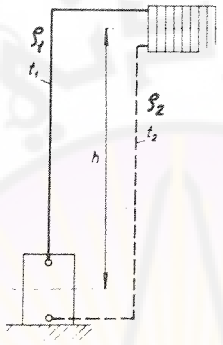
$$A_2 = \frac{90 \cdot 8800 \cdot 60}{10^6 \cdot 0,1} = 475$$

من المخطط نجد ان سماكة العازلية الاقتصادية في الحالة الاولى هي $4\ cm$ وان سماكة العازلية الاقتصادية في الحالة الثانية هي $6,5\ cm$

٣ ـ ٣ ـ ٣ حساب اقطار انابيب شبكة التدفئة في الدارات التثاقلية :

عند اختلاف الكتلة النوعية (الكثافة) لماء التدفئة نتيجـــة الاختلاف في درجات الحرارة في دارة ثاقولية . ينتج عن ذلك ضغـــط تحريكي قيمته تحسب من العلاقـــة :

$$H = g \cdot h \ (\rho_2 - \rho_1) \quad N/m^2$$



الضغط التحريكي في الدارات التثاقلية يؤدى الى تحريك الماء بسرعة w وينتج عن ذلك ضياعات ضغطية • عند كتابة معادلة التوازن الديناميكي للجريان فانه يجب ان يتحقق

$$H = \Sigma \Delta p \cdot \ell + \Sigma \Delta p_z$$

لنتمكن من حساب الضياع الضغطي الناتج عن الاحتكاك فانه من الضرورى اختيار القطر التقريبي • وعادة ما يتم الحساب بالشكل التالي :

نختار بشكل تقريبي النسبة المئوية من الضياعات المكانية α ثم من المعادلة :

$$H - \Sigma \Delta p_z = \Sigma \Delta p \cdot \ell$$

$$H - \alpha H = (1 - \alpha) H = \Sigma \Delta p \cdot \ell$$

ومنه

$$\Delta p = \frac{(1-\alpha) \cdot H}{\Sigma \ell}$$

من اجل الضياع الضغطي Δp نحسب اقطار الانابيب من

الجـــــداول ، ونعين السرعة W ، ثم نحسب الضياعات المكانية . ويجب الا يزيد الضغط الكلي $\Sigma \Delta P_1 \cdot \ell + \Sigma \Delta P_2$ عن الضغط التحريكي H المبين في المعادلـــــــة .

مثـــــال :

احسب شبكة التدفئـــة بالماء الساخـــن حسب الشـــكل . علمـــا ان درجـــة حرارة التغذيـــــة $t_1 = 90\,C^\circ$ ودرجـــة حرارة الرجـــوع $t_2 = 70$.

دارة الجســـم :

الضغط التحريكي $H = 9,81 \cdot 2,75 \cdot (977,8 - 965,3)$

$H = 336\ Pa$

بفرض ان $a = 33\%$ فيكون الضـــغط الناتج عن الاحتكـــــاك

$\Delta P_{fr} = (1-a) \cdot H = 0,67 \cdot H = 0,67 \cdot 336 = 225\ Pa$

الطول الكلي للـــــدارة من 1 الى 12 $\Sigma \ell = 53\ m$

الضياع الضغطي الناتج عن الاحتكاك لمتر طولي واحد $\Delta P = \frac{225}{53} = 4,25\ Pa/m$

دارة الجسم 2 :

الضغط التحريكي $H = 9,81 \cdot 5,75 \cdot 12,5 = 702\ Pa$

الضغط الناتج عن الاحتكاك $0,67 \cdot H = 470\ Pa$

يستهلك من هذا الضغط من 1 الى 5 ومن 8 الى 12 بطول $51\ m$

3100
2300
2300
2700
3,0
3,0
3,0
2,75
3100
5400
7700
10400
9300
19400
9300
29000
3100
5400
9300
37500
46800
I
II
III
IV
V

$51 \cdot 4{,}25 = 217\ Pa$

ويبقى للاقسام 13 و 16 $470 - 217 = 253\ Pa$

الطول الكلي للاقسام 13 و 16 $\Sigma \ell = 8\ m$

الضياع الضغطي الناتج عن الاحتكاك لكل متر طولي واحد

$$\Delta P = \frac{253}{8} = 31{,}6\ Pa/m$$

دارة الجسم 3 :

الضغط التحريكي $H = 9{,}81 \cdot 8{,}75 \cdot 12{,}5 = 1067\ Pa$

الضغط الناتج عن الاحتكاك $0{,}67 \cdot H = 714\ Pa$

يستهلك من هذا الضغط من 1 الى 5 ومن 8 الى 12 $217\ Pa$

ومن 13 الى 16 $(6m)\ 6 \cdot 31{,}6 = 190\ Pa$

ويبقى للاقسام من 17 ولغاية 20 $714 - (217 + 190) = 307\ Pa$

الطول الكلي من 17 ولغاية 20 $\Sigma \ell = 8\ m$

الضياع الضغطي الناتج عن الاحتكاك لمتر طولي واحد

$$\Delta P = \frac{307}{8} = 38{,}4\ Pa/m$$

وبنفس الطريقة نحسب الضياع الضغطي ΔP الى الدارات الاخرى ،

وننظم جدولا بالشكل التالي :

				القطر	حساب الضياعات الضغطية				
	الاستطاعة الحرارية Q	تدفق الماء M	الطول ℓ	d	W	ΔP	$\Delta P.\ell$	ξ	ΔP_2
	W	kg/h	m	mm	m/s	Pa/m	Pa	—	Pa
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$\Delta P = 4,25$ Pa/m $H = 336$ Pa				دارة الجسم				
1	46 800	2010	5,5	70	0, 15	4,3	24	2,8	30,6
2	37 500	1610	4,0	60	0,14	4,5	18	0	—
3	29 000	1245	6	60	0,11	2,8	17	0	—
4	19 000	847	4	50	0,12	4,2	17	0	—
5	10 400	447	5,5	40	0,10	4,5	25	0,6	2,9
6	2700	116	1	20	0,09	8,5	8,5	7,5	29,4
7	2700	116	1	20	0,09	8,5	8,5	2,8	11,0
8	10 400	447	5	40	0,1	4,5	22,5	1,4	6,8
9	19700	847	4	50	0,12	4,2	17	0,5	3,5
10	29 000	1245	6	60	0,11	2,8	17	0,5	2,9
11	37 500	1610	4	60	0,14	4,5	18	0,5	4,8
12	46 800	2010	7	70	0,15	4,3	30	0,6	6,6
			53		$\Sigma \Delta P.\ell + \Sigma \Delta P_2 = 222,5 + 98,5$				
					$= 321$ Pa < 336 Pa				

دارة الجسم 2 $\Delta P = 31,6\ Pa/m \quad H = 702\ Pa$

يستهلك انخفاض ضغط من

1-5									
1-5							101	–	33
8-12							106,5	–	24,5
13	7700	331	3	25	0,17	18	54	0	–
14	2300	99	1	15	0,15	30	30	10	111
15	2300	99	1	15	0,15	30	30	4	45
16	7700	331	3	25	0,17	18	54	0,3	5
			8				$\Sigma\Delta P.\ell + \Sigma P_z =$	375,5 +	218,5

$= 594\ Pa < 702\ Pa$

دارة الجسم 3 $\Delta P = 38,4\ Pa/m \quad H = 1064\ Pa$

يستهلك انخفاض ضغط

1-5-13							155		33
8-12-16							160,5		29,5
17	5400	232	3	20	0,19	31	93	0	–
18	2300	99	1	15	0,15	29	29	10	111
19	2300	99	1	15	0,15	29	29	4	45
20	5400	232	3	20	0,19	31	93	0,5	9

$8\ \Sigma\Delta P.\ell + \Delta P_z =$ 559,5 + 227,5

$= 787\ Pa < 1067\ Pa$

دارة الجسم 4 $H = 1435\ Pa$ $\Delta P = 40,1\ Pa/m$

يستهلك انخفاض ضغط من

1-5, 13, 17							248		33
8-12, 16, 20							253,5		38,5
21	3100	133	3	15	0,2	50	150	—	—
22	3100	133	1	15	0,2	50	50	10	200
23	3100	133	4	15	0,2	50	200	4	80

$8\ \Sigma \Delta P.\ell + \Sigma P_z = 901,5 + 351,5$

$= 1253\ Pa < 1435\ Pa$

تم ايجـــاد عامل انخفاض الضغـــط ξ من الجداول .

٣ ـ ٣ ـ ٤ حساب اقطار انابيب شبكة التدفئة في الدارات القســـــرية (بوجود مضخة) :

يتم حساب اقطار انابيب شبكة التدفئة في الدارات القسريـــــة وذلك باختيار انخفاض ضغط يتراوح بين $100 \div 300\ Pa/m$ والمثال التالي يبين ويوضـــح طريقة الحساب .

مثـــال :

احسب شبكة انابيب التدفئة طبقا للشكل التالي علما ان درجـة حرارة ماء التغذية $t_1 = 90\ C^\circ$ ودرجة حرارة ماء الرجوع $t_2 = 80 C^\circ$.

3100
6200
2300
10800
15400
20000
2700
3,0
25400
50800
76200
152400
177800
203200
609600
VIII
VII
II

رقم الانبوب	الاستطاعة الحرارية Q	تدفق الماء m	تدفق الماء m	الطول		من أجل $\Delta P = 100\ Pa/m$					
				ℓ	d	W	ΔP	$\Delta P.\ell$	ζ	ΔP_z	
	W	Kg/h	Kg/s	m	mm	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	
1, 26	203200	17450		20	80	0,95	120	2400	10,6	4630	
2, 25	177800	15300		12	80	0,80	90	1080	0,5	155	
3, 24	152400	13100		12	70	1	150	1800	0,5	240	
4, 23	127000	10900		12	70	0,85	105	1260	0,5	175	
5, 22	100600	8750		12	60	0,8	110	1320	0,5	155	
6, 21	76200	6550		12	60	0,60	65	780	0,5	88	
7, 20	50800	4370		12	50	0,60	93	1116	0,5	88	
8, 19	25400	2180		16	40	0,48	73	1200	1,7	190	
9, 18	20000	1720		6	32	0,5	96	576	0,5	61	
10, 17	15400	1325		6	32	0,38	58	348	0,5	35	
11, 16	10800	930		6	25	0,48	125	750	0,5	56	
12, 15	6200	533		6	20	0,44	150	900	0,5	47	
13, 14	3100	567		2	15	0,4	180	360	12,5	970	

من أجل $\Delta P = 200\ Pa/m$

d	W	ΔP	$\Delta P.\ell$	$\Sigma\ \xi$	ΔP_z
mm	m/s	Pa/m	Pa	–	Pa
70	1,3	270	5400	10,6	8700
70	1,1	205	2460	0,5	290
60	1,2	240	2880	0,5	350
60	0,95	170	2040	0,5	230
60	0,80	110	1320	0,5	155
50	0,90	200	2400	0,5	196
40	1,0	290	3480	0,5	243
32	0,6	150	2400	1,7	297
25	0,85	400	2400	0,5	175
25	0,65	240	1440	0,5	103
25	0,48	125	750	0,5	56
20	0,44	150	900	0,5	47
15	0,40	180	360	12,5	970

عنـــــد اختيار $\Delta P = 100\ Pa/m$ نجد ان الضياع الضغطي الكلـــي

$$\Delta P_t = \Sigma \Delta P . \ell + \Delta P_z = 13890 + 6890 = 20780\ Pa$$

عند اختيـــــار $\Delta P = 200\ Pa/m$ نجد ان الضياع الضغطي الكلـــي

$$\Delta P_t = \Sigma \Delta P . \ell + \Delta P_z = 28210 + 11812 = 40022\ Pa$$

استطاعـــــة المضخـــة

$$N_P = \frac{m \cdot \Delta P_P}{\rho \cdot \eta} \quad [W]$$

حيث m كمية تدفق المـــــــاء بـ kg/s

ΔP_P ضغط المضخة بـ Pa

ρ الكتلة النوعيـــة للماء kg/m^3

η مردود المضخـــــة

فاذا فرضنا ان مردود المضخة $\eta = 0,6$ وان الكتلة النوعية للمـــــاء عند درجة حرارة وسيطة 85° هو $972\ kg/m^3$ نجد أن

$$N_P = \frac{14,55 \cdot \Delta P_P}{972 \cdot 0,6} = 0,248 \cdot \Delta P_P$$

عند اختيار $\Delta P = 100\ Pa/m$ فان $\Delta P_P = \Delta P_t = 20780\ Pa$

ومنه نجد أن $N_P = 0,248 . 20780 = 517\ watt$

وعند اختيار $\Delta P = 200\ Pa/m$ فان $\Delta P_P = \Delta P_t = 40022\ Pa$

ومنه نجد آن $N_P = 0,248 . 40022 = 990\ watt$

يفضل اختيار اقطار انابيب الحالة الاولى ،كما ويفضل زيـــــادة الضغط الكلي للمضخة كعامل امان لسوء التنفيذ وغيرهـــــا .

٤ متممات اجهـــزة التدفئـــة وحســـابها

٤ ـ ١ المراجـــــل :

ان الطاقة التي تحتويها المحروقات الصلبة او المائعـــــة او الغازية او الناتجة عن تحول الطاقة الكهربائية الى طاقة حرارية ، تتحـــول في اجهزة خاصة الى طاقة حرارية ، وتسمى هذه الاجهزة المراجل . ويطلق عادة على مراجل البخار بمولدات البخـــار .

ويمكن تصنيف المراجل بعدة طرق منهـــا :

آ ـ حسب مادة الصنع : مراجل من الحديد الصب او مراجل من الفولاذ

ب ـ حسب مصدر الطاقة : محروقات صلبة ، محروقات مائعة ، محروقـات غازية ، طاقة كهربائية

جـ ـ حسب الاستعمال : للتدفئة فقط ، للتدفئة وانتاج الماء الساخـن ، لانتاج الماء الساخن

د ـ حسب وسيط التسخين : ماء ساخن بضغط منخفض او بضغط مرتفـع بخار بضغط منخفض او متوسط او بضغـــط مرتفـــع .

هـ ـ حسب الضغط الذي يتحمله المرجل : ضغط منخفض ، ضغـــــط متوسط ، ضغط مرتفع .

سنـــدرس بعض مواصفات المراجـــل المستعملة

آ ـ مراجل حديد الصب : وتكون عادة على شكل :

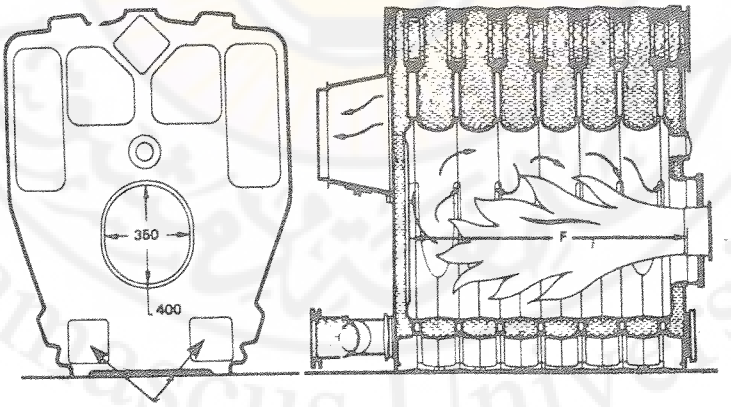
ـ مربع او مستطيل ذات مقاطع شاقولية .

ـ مربع او مستطيل ذات مقاطع افقية .

تركب المراجل الكبيرة في مكان الاستعمال وتشحن بشكل مقاطع ، اما المراجل الصغيرة فانها تكون مركبة ومجمعة في المصنع وتشحن على شكل مرجل كامل الى مكان التركيب .

ومن الممكن تكبير استطاعة المرجل او تصغيرها باضافة مقاطع جديدة او تنقيص عدد المقاطع . وتغلف جميع المقاطع بعد التجميع بعازل حرارى مع غلاف .

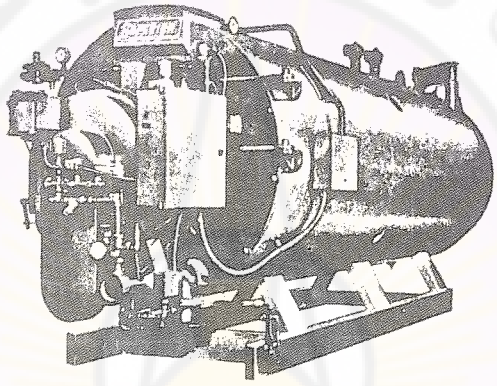
والشكل التالي يبين مرجلا من الحديد الصب .



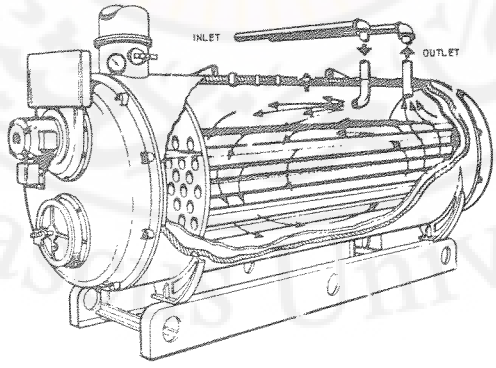
ب ـ المراجل الفولاذية : تكون هذه المراجل اما من نوع انابيب اللهب حيث يمر اللهب وغازات الاحتراق داخل الانابيب ويمر الماء حول هذه

الانابيب ، او من نوع انابيب الماء حيث يمر الماء داخل هذه الانابيب وتمر غازات الاحتراق حولها .

والشكل التالي يبين مرجلا من الفولاذ .



– Typical Fire-Tube Hot Water Boiler



– Internal Flow Pattern, Hot Water Boiler

جـ ـ المراجل الكهربائية : وتكـــون على نوعين :

ـ النوع الاول وهو ذو المقاومة الكهربائية المغلفة بالمعدن والمغمورة بالمـــاء .

ـ النوع الثانـــي ذو الاقطاب الكهربائية المغمورة في مـــاء المرجـــل المضـــاف اليـــه قليـــل مـــن الملـــح لامـــرار التيـــار الكهربـــائي مـــن قطـــب لآخـــر عبـــر المقاومـــة المائيـــة التـــي تقـــوم بعمـــل المقاومـــة الكهربائيـــة وبذلـــك ترتفـــع درجـــة حـــرارة المـــاء .

د ـ مردود المراجـــل : وهي النسبة بين كمية الحرارة التـــي يكسبها الماء اثناء احتراق الوقود ، الى كمية الحرارة التي يحتويهـــا الوقود عند احتراقـــه بشكل جيد (القيمة الحرارية للوقود) .

وتختلف هاتان القيمتان نتيجة الضياع الحرارى من سطح المرجـــل الى الجو الخارجي بالحمل والاشعاع ونتيجة الاحتراق الكامل للوقـــود والضياع الحرارى في غازات المدخنة .

ويتراوح مردود المراجل التي تعمل على المازوت او الغـاز او الزيوت البترولية بين 80% ÷ 70 ÷ 60 عند ما تكون محملـــة 100% .

ومردود المراجل التي تعمل على الفحم الحجرى وذات الاحتـــراق اليدوى بين 75% ÷ 50 وذات الاحتراق الآلي 75% ÷ 60 عند ما تكون محملـــة 100% . علما بأن مردود المراجـل يتعلـق

بالحمل المطبق على المرجل ويعطى من قبل الصانع. وهذا المـــرد ود لا يتغير بشكل كبير عند ما يتراوح الحمل بين 100 % ÷ 60 .

٤ ـ ١ ـ ١ حســـاب استطاعة المراجل :

استطاعة المراجل من اجل التدفئة المركزية يجب ان تســاوى الى الاستهلاك الاعظمي الواجب للتدفئة ولتسخين الماء مضافا اليه الضياعات الحرارية في الانابيب ، ونسبة تسمى عامل بدء التشغيل حسب المعادلـة التاليـــــة

$$Q = Q_{max} (1 + P_1) \cdot (1 + P_2)$$

حيث P_1 عامل الاضافة نتيجة الضياعات الحرارية من الانابيب ويؤخـــذ عادة حســـب الجدول التالي

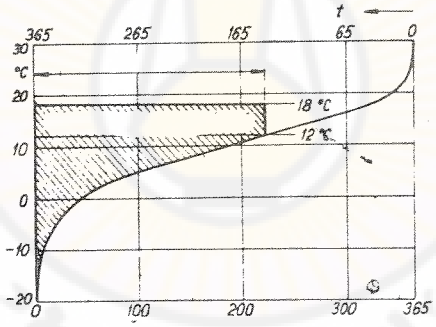
	P_1
من اجل شبكة افقيـــة محمية تمر داخـل الغـــــــرف او شبكـة افقيـة معزولـــــة تمـــر داخل الغـــرف	0,05
من اجل شبكة افقية اقل حمايـــة تمـــر داخـل الغـــرف او شبكـة افقيـة معزولـــة تمر في مكـــان غيـر مدفـــأ	0,1
من اجـــل شـــبكة افقيـــــة غيـــــر محميـــة او شبكـــة افقية معزولـــــة تمر في امكنـــة بـاردة	0,2

P_2 عامل بدء التشغيل (عامل تسخين الماء) وتتراوح قيمته عـــادة بين 0,3 ÷ 0,2 وتتعلق هذه القيمة بنوع البناء وسعته الحراريـــة

ونوع المرجـــــل المستعمـــــل

٤ ـ ١ ـ ٢ اختيـــــار عدد المراجـــــل :

ان الاستطاعة الكلية للمراجل المحسوبة سابقا من الضروري ان تقسم الى عدد مناسب من المراجل واستطاعات مناسبة لكل منها . ويتـــــم ذلك بمعرفة تحول استهلاك الحرارة السنوي والذي يتبع في اغلب الاحيـــان الى تحول درجة الحرارة الخارجية والمنحني الذي يبين العلاقـة بيـــــن عدد الايام في السنة ودرجة الحرارة الخارجية الوسطية في تلك الايام



في حال استعمال مرجل واحد لتغطية الاستطاعة الحراريـــة المطلوبة فانه يجب ان يعمل المرجل بمردود جيد في مجال الاستطاعـــــة المطلوبـــة 100 % – 20 . وفي الحقيقة فان المراجل تعمل بمـــــردود مقبول في مجال استطاعة تتراوح بين 100 % – 60 . وعند انخفـــــاض استطاعة المرجل عن قيمة معينة فان مردود المرجل ينخفض بشكل ســـريع ، لهذا فمن الواجب تقسيم الاستطاعة الكليـــة اللازمـة الى عدة مراجـــل

خاصـــــة عند الاستطاعات الكبيـــرة وحســـب الحاجـــــة .

٤ ـ ٢ حراقات الوقـــود الســـائلة :

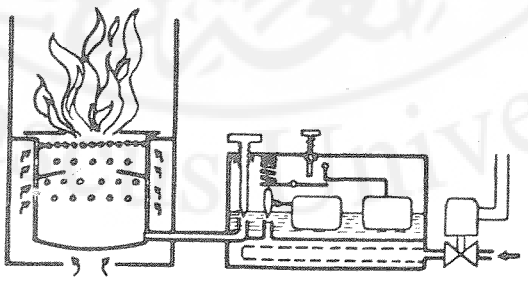
ان عمل حراقات الوقود السائلة هو تذريذ الوقود الـــى ذرات صغيرة وخلطها بالهواء بشكل جيد واحراقهـــا . ويمكن تقسيم هذه الحراقات الـــــى :

أ ـ الحراقات من النوع المبخـــر للوقـــود .

ب ـ الحراقات من النـــوع المذرر للوقـــود .

جـ ـ الحراقات من النوع الـــــد وار .

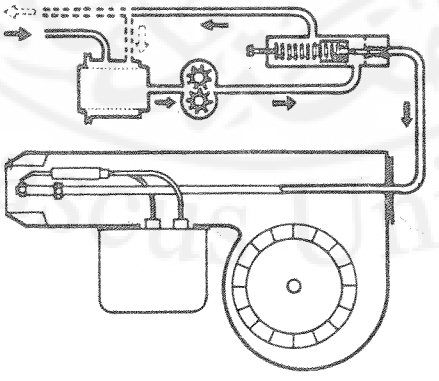
أ ـ تتألف الحراقات من النوع المبخر للوقود من وعاء خاص حيث يتبخـــر الوقود نتيجة الحرارة ثم يشتعل . والهواء اللازم للاشتعال يتـــــم تأمينـــه بواسطة ثقوب موجودة على جوانب الحراق . يتم التحكـــم بكمية الوقود وبالتالي باستطاعة الحراق يدويا بواسطة صمـــام كمـــا يبينـــــه الشـــكل :



يمكن استعمال هذا النوع من الحراقات من اجل الوقود السائلة بلزوجة 1,5E° - 1 ° مردود هذه الحراقات يتراوح بين 70 - 75 %

ب ـ اما الحراقات من النوع المذرر للوقود فهي على عدة انواع : حراقات ذات ضغط عالي وحراقات ذات ضغط منخفض وحراقات تعمل على مبدأ الشفط .

ان الشكل التالي يبين حراق ضغط عال حيث يدفع الوقود بواسطة مضخة الى ضغط يتراوح بين 30 bar - 7 الى بخاخ بحيث يتذرر الى ذرات صغيرة جدا يشتعل بتأثير الحرارة العالية . اما الهواء اللازم للاشتعال فتدفعه مروحة من غرفة الالات الى غرفة الاحتراق . ويتم ابتداء اشتعال المزيج بواسطة شرارة كهربائية . تستعمل هذه الحراقات في المراجل الصغيرة والمتوسطة والكبيرة ، وتحتوى على مصفاة ومضخة كهربائية وصمام تحكم وبخاخ ومروحة هواء مع محركها الكهربائي واجهزة الاشتعال وفوتوسيل وغيرها من الالات والاجهزة المساعدة .



اما الحراقات ذات الضغط المنخفض فهي مشابهة للحراقات ذات الضغط العالي مع ان تذرير الوقود يتم بواسطة الهواء المضغوط. ويتراوح ضغط الوقود بين 2 bar ÷ 1,1 . ويتم تأمين الهواء المضغوط بواسطة ضاغط هوائي يتراوح ضغطه ايضا بين 2 bar ÷ 1,2

اما الحراقات الدورانية فيتم تدفق المازوت الى دولاب دوار يذر الوقود نتيجة القوة النابذة ويدفعه الى غرفة الاحتراق. ويدفع الهواء اللازم للاحتراق بواسطة مروحة كهربائية .

٤ ـ ٢ ـ ١ حساب استطاعة حراقات الوقود السائل :

يتم حساب استطاعة حراقات الوقود السائل من العلاقة

$$\text{استطاعة الحراق } l/s = \frac{\text{استطاعة المرجل بـ } [W]}{\text{القيمة الحرارية للوقود } J/litr \times \text{مردود المرجل}}$$

٤ ـ ٣ مضخات التسريع :

يستعمل في الدارات القسرية مضخات للتغلب على مقاومة شبكة التدفئة ولدفع الماء وتحريكه الى ابعد نقطة في الدارة وتستعمل لهذه الغاية المضخات النابذه ، والتي تتألف من جسم المضخة الحلزوني والدولاب الدوار المركب على المحور الذى يدور بواسطة محرك كهربائي .

الاستطاعة الكهربائية اللازمة للمضخة تحسب من العلاقة

$$Np = \frac{m \cdot H}{\rho \cdot \eta} \quad [W]$$

حيث m كمية تدفق الماء Kg/s

H ضغط المروحة N/m^2

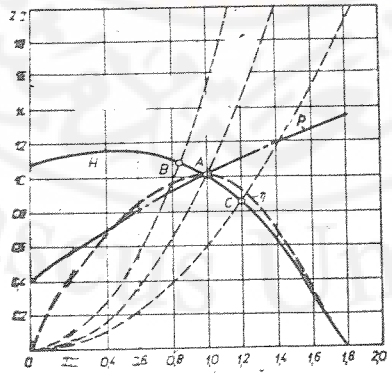
ρ كثافة الماء Kg/m^3

η مردود المضخة

يجب ان تكون استطاعة المحرك الكهربائي اكبر من الاستطاعة المحسوبة من العلاقة السابقة بمقدار يتراوح بين $15 \div 25$ %

٤ ـ ٣ ـ ١ المنحني المميز للمضخة ولانابيب الماء :

المنحني المميز للمضخة والذى يعين فقط بالتجربة يعطى العلاقة بين ضغط المضخة H وكمية تدفق الماء m . اما المنحني المميز للانابيب والذى يعين العلاقة بين الضياع الضغطي ΔP_t وكمية تدفق الماء في الشبكة m فيكون في اكثر الاحيان بشكل قطع مكافئ يمر من نقطة الصفر كما في الشكل



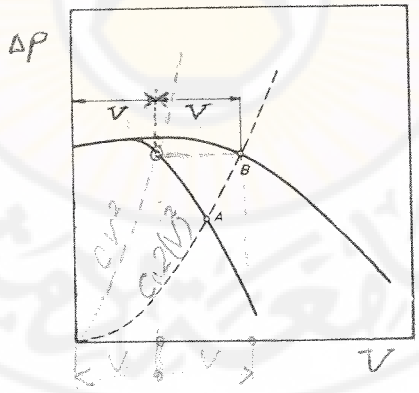
ان نقطة التشغيل A هي نقطة تقاطع المنحني المميز للمضخة مع المنحني المميز للانابيب. عند تغير المنحني المميز للانابيب تتحول النقطة A الى C او B .

عند وصل مضختين متماثلتين على التفرع في شبكة واحدة فان كمية تدفق الماء لهاتين المضختين تكون

$$m = m_1 + m_1 = 2\,m_1$$

بينما الضغط لا يتغير $H = H_1$

والشكل التالي يبين وصل مضختين على التفرع والمنحني المميز لهما



وعند وصل المضخات على التسلسل في شبكة واحدة ، فان كمية تدفق الماء لهاتين المضختين لا تتغير

$$m = m_1$$

اما الضغط الكلي فيكون $H = H_1 + H_1 = 2\,H_1$

ولا تستعمل هذه الطريقة كثيرا لامكانية ايجاد مضخة بالضغط المطلوب .

٤ ـ ٣ ـ ٢ قوانين المضخات :

ينطبق على كل مضخة القوانين التالية :

- كمية تدفق المضخة تتناسب مباشرة مع عدد دورات المضخة ٠
- ضغط المضخة يتناسب مع مربع عدد دورات المضخة ٠
- الاستطاعة اللازمة للمضخة تتناسب مع مكعب عدد دورات المضخة ٠

٤ ـ ٤ خزان التمدد :

كل شبكة تدفئة مائية مفتوحة يجب ان تجهز بخزان تمدد وتغذية لاستيعاب التمدد الناتج عند ارتفاع درجة حرارة الماء ولتغذية الشبكة بالماء عند ابتداء التشغيل وللتعويض الدائم عن اى فقدان في كمية الماء في المجموعة ٠ يركب خزان التمدد في اعلى مكان بحيث يكون عموديا على المرجل (قدر الامكان) ويوصل مع المرجل بأنبوب تنفيس وانبوب تغذية يتجهان نحو الاعلى دائما ٠

قطر انبوب التنفيس الداخلي (الامان) يحدد من العلاقة

$$d = 15 + 1,5 \sqrt{\frac{Q}{1000}} \quad mm$$

وقطر انبوب التغذية الداخلي يحدد من العلاقة

$$d = 15 + \sqrt{\frac{Q}{1000}}$$

حيث Q الاستطاعة الحرارية للاجهزة

اما حجم خزان التمدد O فيجب ان يكون ضعف حجم الماء المتمدد علما بأنه عند تسخين الماء لغاية $100\,C^{\circ}$ فان حجم الماء يزداد بمقدار $4,3\%$ لتحديد حجم الخزان الدقيق يجب حساب كمية محتوى الماء في شبكة

الانابيب والمرجل والمدافئ ، الخ ... ثم حساب حجم خزان التمدد من العلاقة

$$O = 2\ M_w\ (V_2 - V_1)\ [m^3]$$

حيث M_w كتلة الماء الموجودة في الشبكة kg

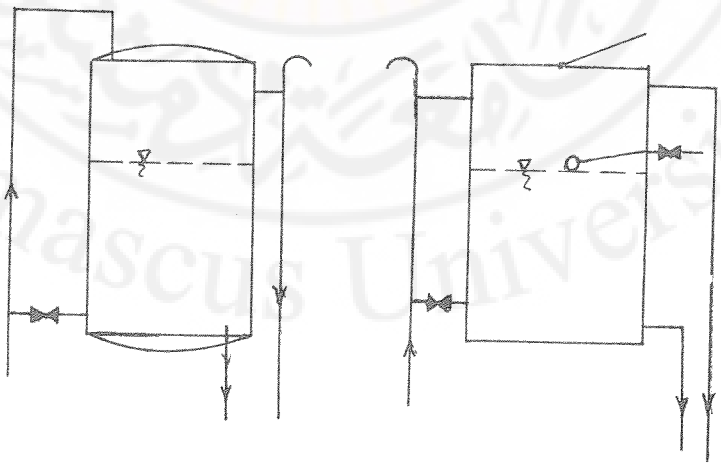
V_2 الحجم النوعي للماء عند درجة الحرارة t_2 بـ m^3/kg

V_1 " " " " " " " بـ t_1 m^3/kg

او يحسب من العلاقة التقريبية $O = 0{,}08 \cdot V$

حيث V حجم الماء في الشبكة m^3

تصنع خزانات التمدد المفتوحة من الصاج المغلفن بسماكة لا تقل عن $3\ mm$ بشكل اسطواني او متوازي الاضلاع. ويبين الشكل التالي خزان تمدد اسطواني الشكل حيث وصل انبوب التنفيس من الاعلى وانبوب التغذية من الاسفل.



يعزل خزان التمدد ويفضل وضعه قرب المدخنة خوفا من تجمد الماء كما يجب عزل انبوب التنفيس وانبوب التغذية، وفي بعض الاحيان يوصل خط التنفيس مع الماء في خزان التمدد بواسطة انبوب مع صمام لتأمين دوران الماء في الايام الباردة فقط .

اما في شبكات التدفئة بالماء المضغوط الى ضغط اعلى من الضغط الجوى، او عند عدم امكانية تركيب خزان التمدد المفتوح في الارتفاع المناسب فوق المرجل او اسطوانة الماء الساخن فيستعمل خزان تمدد مغلق حيث يؤمن الضغط الستاتيكي بواسطة الهواء المضغوط او اى غاز آخر، ويحسب حجمه من العلاقة :

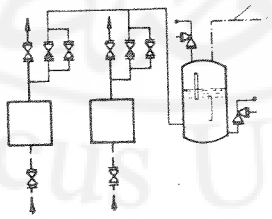
$$O = \frac{V \cdot P_2}{(P_2 - P_1)}$$

حيث V حجم الماء المتمدد

P_2 الضغط على الخزان عند درجة الحرارة العظمى

P_1 " " " " " " $7c^{\circ}$

والشكل التالي يبين طريقة الوصل .



اما اجهزة الامان عند التدفئة بالبخار فتختلف عن اجهزة الامان عند التدفئة بالماء ويمكن دراستها في المرجع ١ .

٤ ـ ٥ المدخنـــــة :

ان وظيفة المدخنة هي طرد غازات الاحتراق وكذلك امتصاص الهواء اللازم للاحتراق • ان سحب المدخنة يحدث نتيجة الاختلاف في الكتلة النوعية لغازات الاحتراق الساخنة في المدخنة والكتلة النوعية لعمود الهواء البارد بارتفاع المدخنة ويحسب من العلاقة التالية

$$h = H\,(\rho_0 - \rho_1)\cdot g$$

حيث h سحب المدخنة N/m^2

H ارتفاع المدخنة m

ρ_0 الكتلة النوعية الوسطية للهواء الخارجي Kg/m^3

ρ_1 الكتلة النوعية الوسطية لغازات الاحتراق Kg/m^3

اما مقطع المدخنة فيحسب طبقا لعلاقات تجريبية منها سحب طبيعي

$$S = \frac{Q}{3{,}1\ 10^3\sqrt{H}}\ m^2$$

حيث Q استطاعة المرجل بـ W .

H ارتفاع المدخنة بـ m .

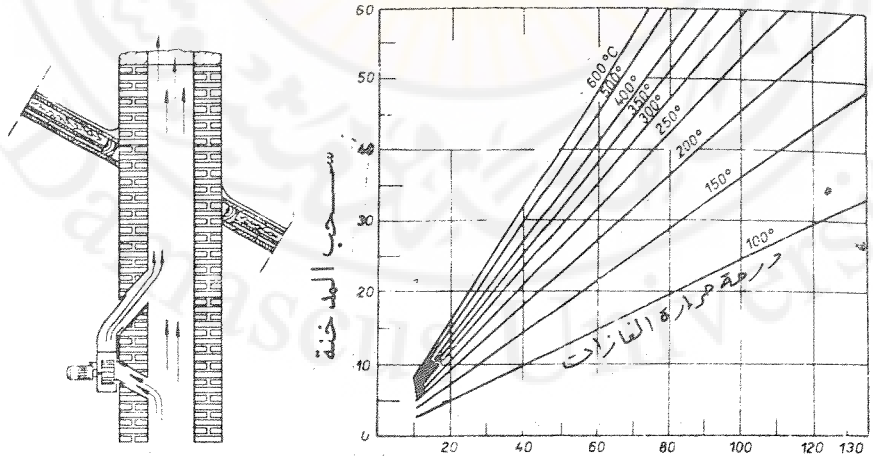
هذا وعادة ما نختار مقطع المدخنة الافقي اكبر من مقطع المدخنة العمودى بـ 10 – 20 % ، كما يجب الا يزيد طول مقطع المدخنة الافقي عن 1/4 ارتفاع المدخنة العمودى ونوصي بعدم وصل اكثر من مرجلين او ثلاثة على مدخنة واحدة • كما يجب ان تكون درجة حرارة الغازات المنطلقة من المدخنة اعلى من درجة حرارة نقطة الندى لهذه الغازات لعدم تكاثف هذه الغازات مما يؤدى الى استهلاك المدخنة •

لذلك يجب عزل جدران المدخنة حراريا ، ويفضل ادخال المدخنة في وسط البناء وعبر جدرانه الداخلية . كما يجب ان يكون ارتفاع المدخنة الى حد لا يمكن معه للابنية المجاورة ان تؤثر على سحب المدخنة كما يجب فحص سحب المدخنة لتأثيرها الكبير على الاحتراق في الموقد .

في حال انخفاض ارتفاع المدخنة ، او عندما تكون درجة حرارة غازات الاحتراق منخفضة مما يسبب عدم تأمين فرق الضغط اللازم لعملية الاحتراق في الموقد فانه يجب استعمال اجهزة مساعدة للسحب وهي على نوعين

آ ـ اجهزة تضغط الهواء عبر غرفة الاحتراق وبالتالي دفعه ضمن المدخنة .

ب ـ اجهزة تسحب غازات الاحتراق من المدخنة كما يبينه الشكل التالي.



ارتفاع المدخنة

٤ ـ ٦ غرفة الآلات :

عند تعيين غرفة المراجل في المبنى يجب الاخذ بعين الاعتبار النقاط التالية :

١ ـ مكان المدخنة .

٢ ـ تأمين المحروقات للغرفة بسهولة .

٣ ـ مكان خزان التمدد (في الدارات المفتوحة) .

٤ ـ مساحة الغرفة بحيث تكون كافية لا ستيعاب المراجل وتوابعها وللقيام بالصيانة اللازمة بسهولة لكل مرجل على حدة .

٥ ـ ارتفاع الغرفة بحيث تساعد على تمديد الانابيب والقيام بالصيانة اللازمة .

٦ ـ الجدران ، الارض ، السقف بحيث تكون ضد الحريق .

٧ ـ يجب ان تكون الغرفة مزودة بنافذة واحدة على الاقل وباب يسمح بدخول المراجل اليها ، ويفتح الى الخارج ومقاوم للحريق .

٨ ـ يجب تأمين الهواء الخارجي اللازم للاحتراق الى الغرفة من النوافذ . وفي حال عدم وجود النوافذ فانه يجب تأمين الهواء بواسطة مجرى خاص مقطعه تقريبا يساوى مقطع المدخنة ، كما يجب تأمين التهوية اللازمة بحيث يكون سحب الهواء من السقف ، ودخول الهواء الخارجي قرب الارض .

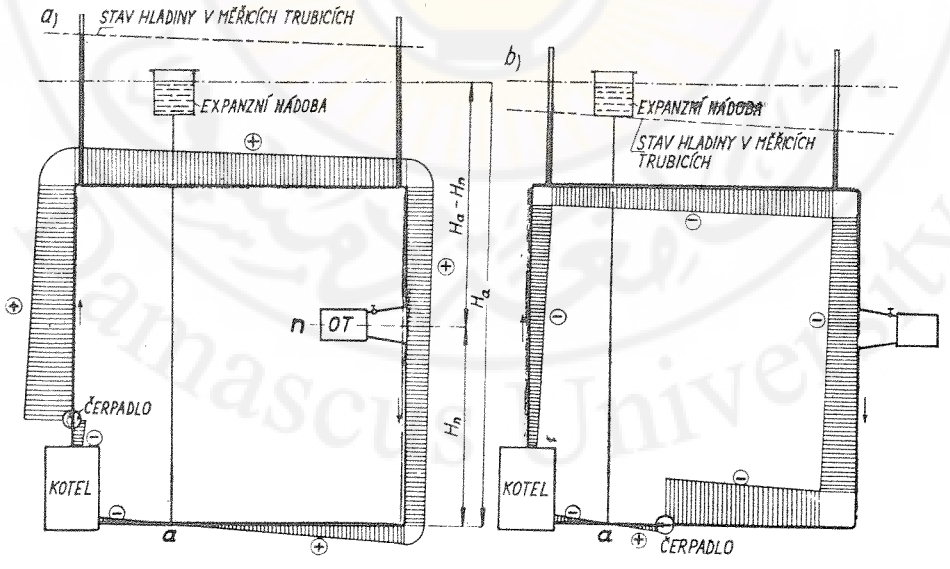
٩ ـ يجب تامين الانارة الكافية للقيام بأعمال التشغيل والصيانة وغيرها .

١٠ ـ يجب تأمين مصرف في اخفض نقطة يتصل مع المجرور العام او مع مضخة تعمل بشكل آلي وتصل الى خارج الغرفة .

٥ وضـــع المضخة في شبكة التدفئة

يمكن وضع مضخة التسريع على الخط الذاهب ، او على الخط الراجع الى المرجل ويجب الا تقع بين المرجل وخط التنفيس او بين المرجل وخط التغذية . وفي كلتا الحالتين يجب التأكد من عدم حدوث انخفاض في الضغط عن الضغط الجوى الخارجي والذى يؤدى الى دخول الهواء الى الدارة وبالتالي تعطيل دارة الماء .

توزع الضغط في الشبكة عند وضع المضخة على الخط الذاهب او الخط الراجع يبينه الشكل التالي



ان توزع الضغط الستاتيكي في الدارة معطى بارتفاع سطح الماء في خزان التمدد فوق النقطة المعطاة . فمثلا في النقطة a الضغط الستاتيكي يساوى الى Ha ، وفي النقطة n يكون الضغط الستاتيكي $Ha - Hn$. وعند دوران المضخة يضاف الى الضغط الستاتيكي الناتج عن ارتفاع سطح الماء في خزان التمدد ، ضغط المضخة Hp الضروري للتغلب على الضياعات الضغطية في شبكة التدفئة .

عند وضع المضخة على خط التغذية فان ضغط المضخة الاضافي يؤدى الى نقص الضغط الكلي تحت مستوى الضغط الستاتيكي الاساسي فقط في المسافة بين النقطة a وفوهة امتصاص المضخة ، بينما في المجال من فوهة ضغط المضخة الى النقطة a (اى تقريبا في كل الدارة) يؤدى الى زيادة الضغط الكلي . وفي هذه الحالة فان الضغط في كامل الشبكة تقريبا يكون اعلى من الضغط الجوى .

اما في حال وضع المضخة على الخط الراجع فان ضغط المضخة الاضافي يؤدى الى زيادة الضغط الكلي بين فوهة دفع المضخة والنقطة a بينما تكون الدارة في المجال من النقطة a الى فوهة امتصاص المضخة بضغط سالب وفي هذه الحالة يمكن ان ينشأ في اجسام التدفئة العلوية تخلخل يؤدى الى تسرب الهواء .

لعدم حدوث ذلك يجب ان يكون ارتفاع مستوى الماء في خزان التمدد عن اعلى جسم تدفئة في الدارة اكبر من الضغط التحريكي للمضخة . وفي حال عدم امكانية وضع خزان التمدد بارتفاع مناسب فانه يجب وضع المضخة على الخط الذاهب .

٦ طرق وأساليب التدفئة المركزية المستعملة

تصنف التدفئة المركزية طبقا لوسيط التسخين المستعمل الى مايلي

آ ـ تدفئة بالماء الساخن

ب ـ تدفئة ببخار الماء

جـ ـ تدفئة بالهواء الساخن

د ـ تدفئة بالكهرباء

وتصنف التدفئة بالماء الساخن طبقا الى درجة حرارة الماء الى

ـ تدفئة بالماء الساخن ذى الضغط المنخفض بحيث لا تزيد درجة الحرارة عن 90 C° .

ـ تدفئة بالماء الساخن ذى الضغط المتوسط بحيث لا تزيد درجة الحرارة عن 120 C° .

ـ تدفئة بالماء الساخن ذى الضغط العالي بحيث لا تزيد درجة الحرارة عن 200 C° .

وتصنف التدفئة بالماء الساخن طبقا الى ترتيب الانابيب الى

ـ انبوب واحد او انبوبين

ـ تغذية علوية او تغذية سفلية

كما ان التدفئة ببخار الماء تصنف طبقا الى ضغط بخار الماء الى

- تدفئة ببخار الماء ذى الضغط المنخفض ،
- " " " " " المتوسط ،
- " " " " " العالي ،

وطبقا الى طريقة رجوع ماء التكاثف الى

- رجوع ماء التكاثف نتيجة الجاذبية .
- " " " بشكل ميكانيكي .

وطبقا الى ترتيب الانابيب الى

- انبوب واحد او انبوبين .
- تغذية علوية او تغذية سفلية .

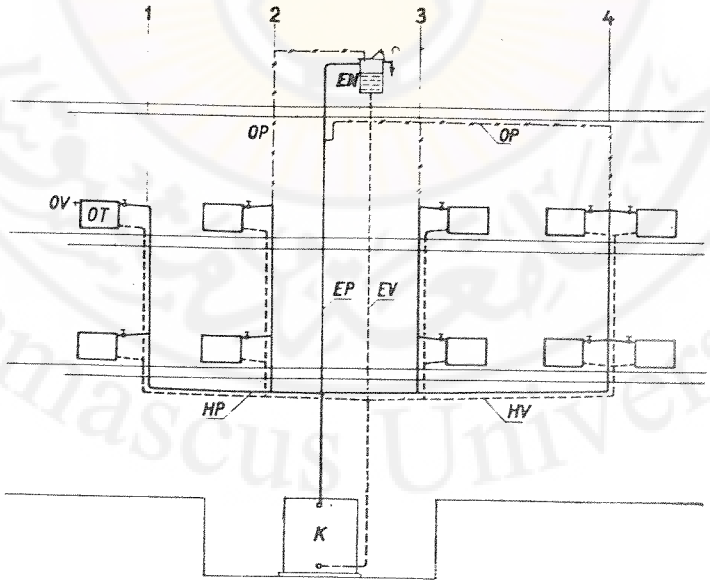
٦ ـ ١ التدفئة بالماء الساخن :

ان اسلوب التدفئة بالماء الساخن هو اكثر الاساليب المستعملة في بيوت السكن وفي المكاتب التجارية والمستشفيات وفي المدارس والفنادق وغيرها من الاماكن التي تتطلب درجة حرارة منخفضة للاجسام المشعة . يجب الا تزيد درجة حرارة الماء عن 95° . وطبقا الى جريان الماء في الدارة تقسم هذه الطريقة الى جريان طبيعي نتيجة الاختلاف في كثافة الماء ، وجريان قسرى بوجود مضخة تسريع .

٦ ـ ١ ـ ١ التدفئة بالماء الساخن وجريان طبيعي :

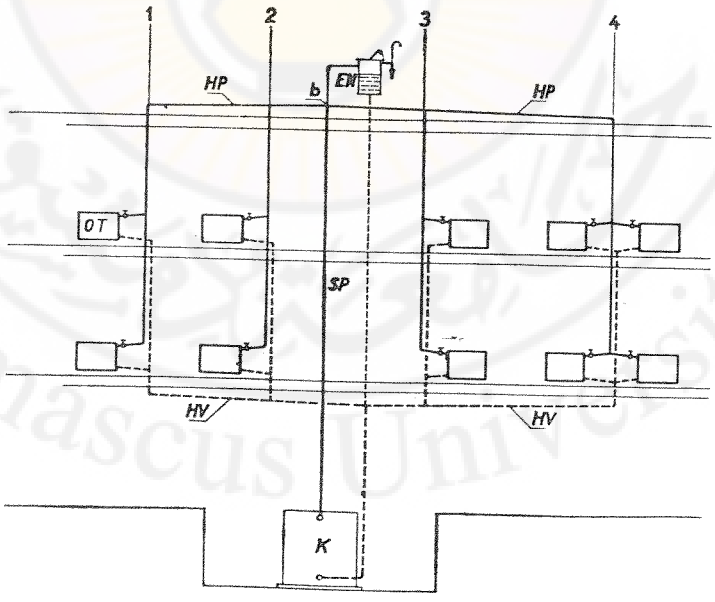
التدفئة بالماء الساخن وجريان طبيعي للماء تصلح الى الاماكن الصغيرة التي لا يزيد استهلاكها عن 150000 W ويجب استعمال انبوبين بتغذية من الاسفل او تغذية من الاعلى .

٦ ـ ١ ـ ١ ـ ١ شبكة الانبوبين بتغذية من الاسفل : ان الشكل التالي يبين هذه الطريقة ، حيث يسخن الماء في المرجل K ومنه وواسطة انبوب افقي HP يمر تحت سقف قبو البناء يوزع الماء بواسطة انابيب شاقولية 1 و 2 و 3 و 4 الى الغرف المدفأة . بعد ان يبرد الماء يعود الى المرجل مرة ثانية بواسطة انابيب الرجوع .



المجموعة موصولة مع خزان التمدد المفتوح بواسطة انبوبين ، وكما هو واضح فان انابيب التغذية تأخذ ميلا بحدود 5 % الى نقاط تنفيس الهواء . يتم تنفيس الهواء اما يدويا بواسطة صمامات تنفيس موصولة الى اعلى نقطة في كل صاعد ، او بواسطة انبوب تنفيس موصول مع الصواعد ومع خزان التمدد . تستعمل هذه الطريقة عند امكانية تمديد شبكة افقية في قبو البناء .

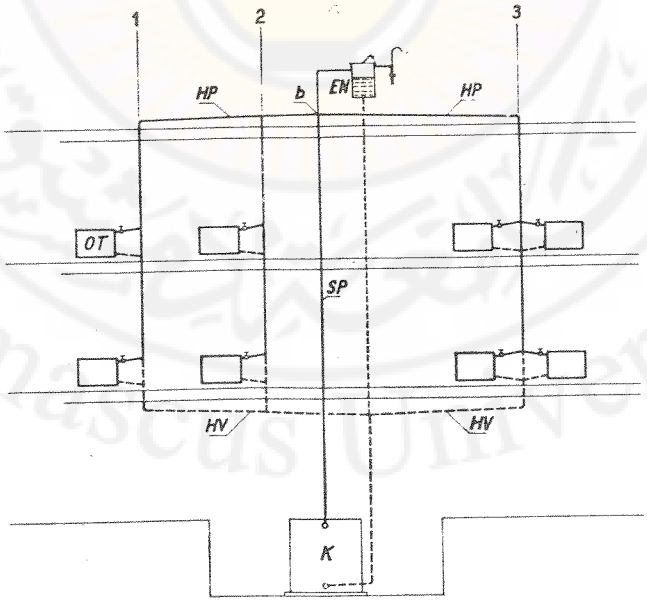
٦ ـ ١ ـ ١ ـ ٢ شبكة الانبوبين بتغذية علوية : في هذه الطريقة يدفع الماء الساخن من المرجل الى الصاعد SP والى الاعلى ومنه بواسطة تمديدات افقية HP ممددة فوق الاجسام المشعة العلوية ثم يوزع الى صواعد موصولة مع اجسام التدفئة كما يبينه الشكل



بعد تبريد الماء في الاجسام المشعة يعود بواسطة انابيب الرجوع الشاقولية وانابيب الرجوع الافقية HV الى المرجل K . يوصل خزان التمدد مع الانبوب العلوى والذى يخدم في هذه الحالة لتنفيس الهواء مع الشبكة التي تأخذ ميلا بين 5% - 3% الى نقاط التنفيس .

من حسنات هذه الطريقة امكانية الحصول على ضغط تحريكي اعلى من الطريقة السابقة، ومن سيئاتها الضياعات الحرارية التي تحصل في الانبوب الراجع الافقي الذى يمدد عادة في الارض . ونادرا ما تستعمل هذه الطريقة لتكاليفها المرتفعة .

٦ ـ ١ ـ ١ ـ ٣ شبكة الانبوب الواحد بتغذية علوية : يمكن استعمال انبوب واحد وبتغذية علوية وجريان طبيعي للماء طبقا للشكل التالي .



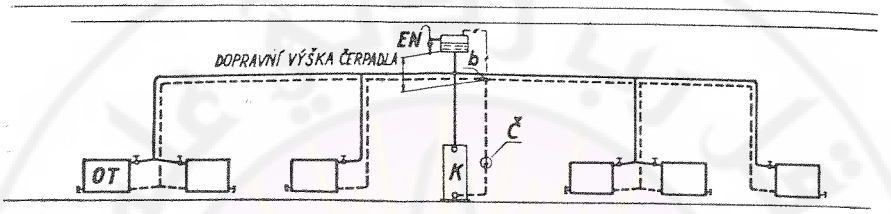
حيث يدفع الماء بانبوب واحد من المرجل الى الاعلى ومنه تمدد شبكة افقية وشبكة شاقولية توصل بها الاجسام المشعة . ومن الواضح ان الاجسام المشعة العلوية تكون درجة حرارتها الوسطية اعلى من الاجسام المشعة السفلية ، وهذا يعني انه عند تساوى الاحمال الحرارية فان سطح المشع السفلي يجب ان يكون اكبر من سطح المشع العلوى .

٦ ـ ١ ـ ٢ التدفئة الطابقية :

التدفئة الطابقية بالماء الساخن تستعمل لتدفئة عدة غرف موجودة في طابق واحد ، اى لتدفئة بيوت منفردة حيث يوضع المرجل في احدى الغرف وبمستوى واحد مع الاجسام المشعة .

٦ ـ ١ ـ ٢ ـ ١ التدفئة الطابقية بجريان طبيعي : ان الشكل التالي يبين هذه الطريقة . وباعتبار ان المرجل يقع على ارتفاع واحد مع الاجسام المشعة يمكن ان يتولد الضغط التحريكي نتيجة انخفاض درجة حرارة الماء في الشبكة الافقية للتغذية الممددة تحت السقف ، ولهذا يجب عدم عزل انابيب التغذية الافقية . تستعمل هذه الطريقة عندما لا تكون مساحة البيت كبيرة .

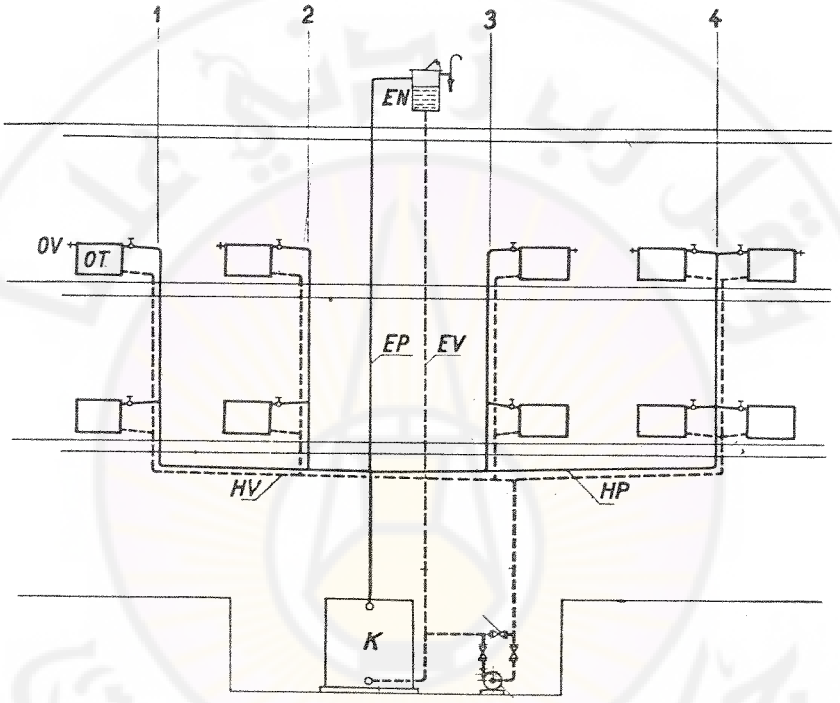
٦ ـ ١ ـ ٢ ـ ٢ التدفئة الطابقية بجريان قسري : تستعمل هذه الطريقة في البيوت ذات المساحات الواسعة . ويتم جريان الماء القسرى بواسطة مضخة موضوعة اما على خط التغذية او على خط الرجوع . وعند وضع المضخة على خط الرجوع يجب ان تكون المسافة h تساوى على الاقل ضغط المضخة بالمتر . والشكل التالي يبين هذه الطريقة



٦ ـ ١ ـ ٣ التدفئة بالمـــاء الساخن وبجريان قسرى :

تستعمل التدفئة بالماء الساخن وبجريان قسرى بشكل واســع في مجالات الاستطاعات الحرارية الصغيرة والكبيرة ، وفي الاماكن الواسعة. وميزات هذه الطريقة ان انابيب التدفئة تكون بقطر اصغر من التدفئة بجريــان طبيعي وتمكن الوصول الى درجة الحرارة المطلوبة بوقت قصــير.

ان اشكال هذه الطريقة مشابهة للتدفئة بالمأء الساخـــــن وبجريان طبيعي ويمكن ان تكون الشبكة بانبوب واحد او انبوبين وبتغذيـــة سفلية او تغذية علوية . توضع المضخة اما على الخط الراجع او على الخــط الذاهب . والشكل التالي يبين طريقة الانبوبين وبتغذية سفلية حيـــث وضـــعت مضخـــة التســـريع علـــى خـــط الرجـــوع ويفضـــل وضـــع مضـــختين علـــى التفـــرع لتكـــون احـــدى المضختيـــن احتياطيـــة في الشبكـــة .



٦ ـ ١ ـ ٤ التدفئة بالاشعاع:

التدفئة بالاشعاع وباستعمال الماء الساخن هي احدى الطرق الجيدة في التدفئة حيث توضع اجسام التدفئة في السقف او في الارض او في الجدار للغرفة المدفأة، وحسب وضع اجسام التدفئة غير التدفئة السقفية او الارضية او الجدارية .

وباعتبار ان سطح التدفئة المستوى ينقل القسم الاكبر من الحرارة بواسطة الاشعاع، تسمى هذه الطريقة التدفئة بالاشعاع . ان هذه

التسمية تنطبق فقط على التدفئة السقفية حيث يتم انتقال حوالي 75% من الحرارة بواسطة الاشعاع والقسم الباقي بالحمل. وعند التدفئة الجدارية فانه يتم انتقال حوالي 50% من الحرارة بواسطة الاشعاع و 50% بواسطة الحمل. اما التدفئة الارضية فان نسبة انتقال الحرارة بالحمل اعلى من نسبة انتقال الحرارة بالاشعاع.

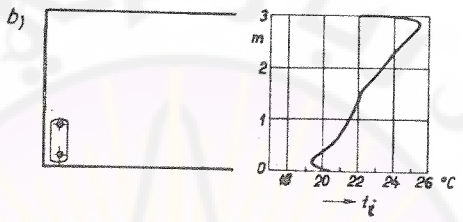
درجة حرارة سطح السقف يجب الا تزيد عن 40 ÷ 45% ودرجة حرارة سطح الارض يجب الا تزيد عن 25 ÷ 30% ودرجة حرارة الجدران عن 55 ÷ 60 C°.

تستعمل هذه الطريقة من التدفئة في الاماكن التي تدفأ بشكل مستمر علما ان تكاليفها مرتفعة وتركيبها معقد، ولهذا فانها لا تستعمل في البيوت المنفصلة، ويمكن استعمالها في صالات الاستقبال، وفي المتاحف وفي المطاعم والمؤسسات الاستهلاكية الكبيرة، حيث وجود اجسام التدفئة يعرقل المنظر الجمالي للبناء.

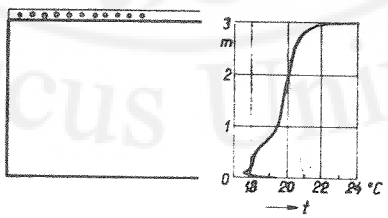
تختلف هذه الطريقة من التدفئة عن طريقة التدفئة بالحمل وبواسطة الاجسام المشعة، حسب طريقة انتقال الحرارة من اجسام التدفئة الى الغرفة.

عند استعمال التدفئة بالحمل فان جسم التدفئة يسخن الهواء في الغرفة وهذا الهواء الساخن ينقل الحرارة بالحمل الى سطوح الجدران حيث تكون درجة حرارة الهواء الداخلية اعلى من درجة حرارة سطوح هذه الجدران. يجرى الهواء الساخن من جسم التدفئة الى الاعلى ليصل الى السقف. ويجرى الهواء البارد من الاسفل الى جسم التدفئة

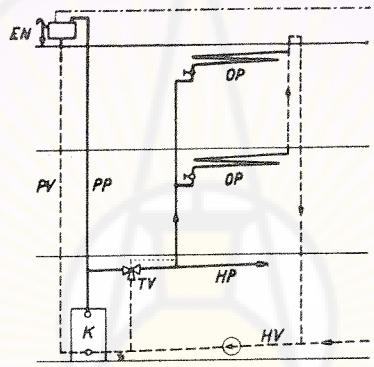
وهذا يؤدى الى اختلاف في درجة الحرارة بشكل شاقولي حسب الشكل التالي :



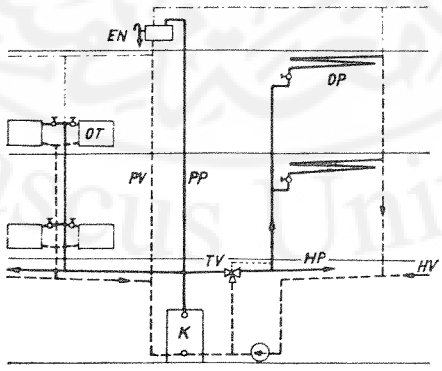
اما عند التدفئة السقفية فان نسبة صغيرة من الحرارة تنتقل بالحمل الى هواء الغرفة، بينما القسم الاكبر من الحرارة ينتقل بالاشعاع (بدون واسطة الهواء) الى الجدران. ولهذا فان درجة حرارة سطح هذه الجدران تكون اعلى من درجة حرارة هواء الغرفة. ويعتبر ذلك من وجهة النظر الفيزيولوجية افضل من طريقة التدفئة بالحمل وتكون درجة الحرارة الوسطية للجدران عند التدفئة السقفية بالاشعاع اعلى من درجة حرارة الهواء بـ 3 - 2 درجات. تدرج درجات الحرارة في هذه الطريقة يبينه الشكل التالي



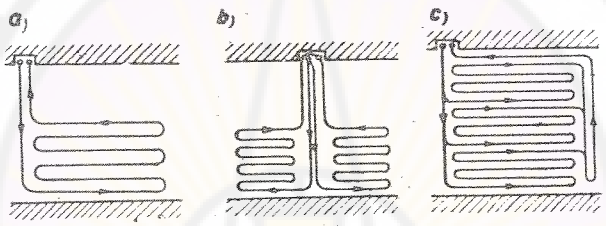
عند التدفئة السقفية بواسطة الاشعاع فان درجة حرارة الماء يجب الا تزيد عن $50^{\circ}C$. وباعتبار ان هذه الدرجة غير مسموح بها في المراجل فانه يتم الحصول عليها بواسطة خلط ماء المرجل مع ماء الرجوع بواسطة صمام ثلاثي حسب الشكل



كما يمكن استعمال مرجل واحد للتدفئة بالاشعاع وللتدفئة العادية حسب الشكل التالي

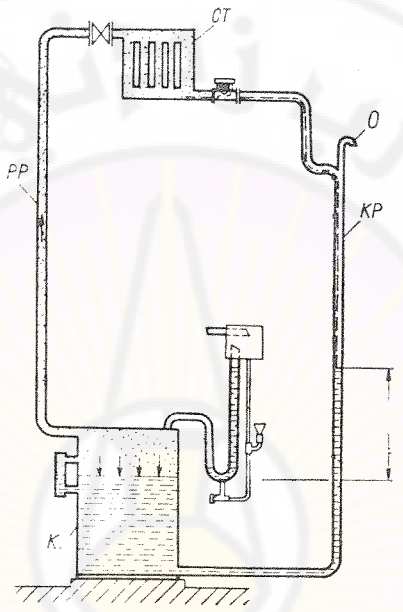


اما طريقة تمديد الانابيب في السقف وطريقة وصلها مع صواعد التدفئة فان الشكل التالي يبين ذلك .



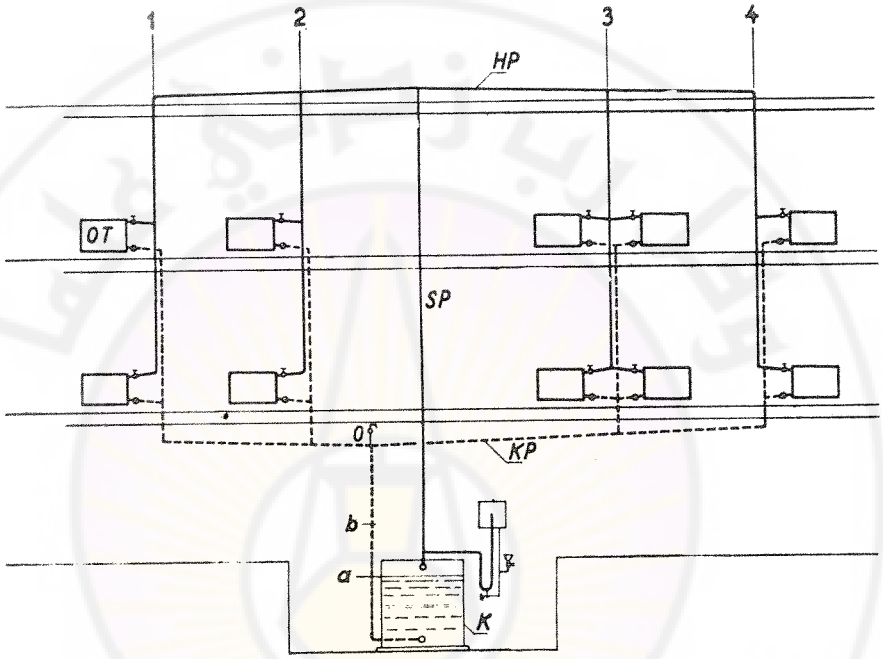
٦ ـ ٢ التدفئة بالبخار ذى الضغط المنخفض :

ان الشكل التالي يبين طريقة التدفئة بالبخار ذى الضغط المنخفض حيث يجرى بخار الماء من المرجل K بواسطة انابيب البخار PP الى اجسام التدفئة OT ، يتكاثف فيها ويعطي الى جسم التدفئة حرارة التكاثف . ولكي يتم تكاثف البخار باكمله يوضع بعد جسم التدفئة مصيدة للبخار تسمح للماء المتكاثف فقط بالخروج من جسم التدفئة . يعود الماء المتكاثف بواسطة انابيب التكاثف KP الى المرجل . توصل انابيب الماء المتكاثف مع الهواء الخارجي بواسطة منفس هواء O .

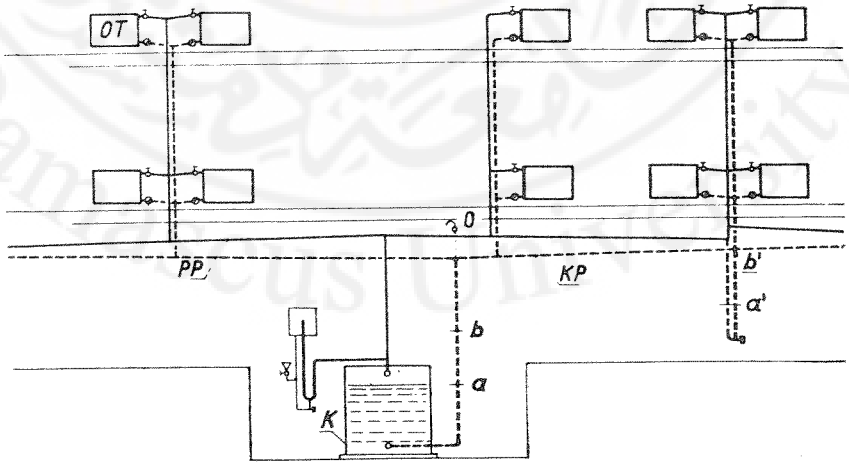


من ميزات التدفئة بالبخار ان عامل التشغيل للوصول الى درجة الحرارة المطلوبة داخل الغرفة صغير . ومن سيئاتها صعوبة التحكم في مرجل التدفئة ، كما أن درجة حرارة السطح المشع مرتفعة والضياعات الحرارية في الانابيب عالية .

ان الشكل التالي يبين طريقة تدفئة بالبخار بضغط منخفض وتغذية علوية



كما ان الشكل التالي يبين طريقة تد قئقبا لبخار وضغط منخفض وتغذية سفلية



٦ ـ ٣ التدفئة بالهواء الساخن :

عند التدفئة بالهواء الساخن فانه يمكن تسخين هذا الهواء خارج الغرفة وارساله بواسطة مروحة الى داخل الغرفة ، او تسخين الهواء داخل الغرفة مباشرة . وعادة ما يستعمل تسخين الهواء مباشرة في الغرفة لاسباب اقتصادية .

يتم جريان الهواء بشكل قسرى باستعمال المروحة . ويمكن استعمال هواء معاد فقط او هواء جديد او هواء معاد وهواء جديد . من ميزات هذه الطريقة هو الوصول لدرجة الحرارة المطلوبة بسرعة . اما سيئاتها فان تدرج درجات الحرارة الشاقولية غير متناسقة حيث تزداد درجة الحرارة مع زيادة الارتفاع .

تستعمل هذه الطريقة للتدفئة في صالات المعامل وفي الصالات الواسعة وتركب وحدات التدفئة اما على الجدران او السقف حسب ما شرحت سابقا .

٦ ـ ٤ الطرق الاخرى المستعملة للتدفئة :

في حال اغلاق دارة التدفئة بالماء او بالبخار ، فانه يمكن بتغيير الضغط المطبق على الدارة الحصول على درجة حرارة عالية للماء او للبخار حسب قيمة الضغط المطبق على الدارة .

٦ ـ ٤ ـ ١ التدفئة بالماء ذى الضغط المتوسط والعالي : التدفئة بالماء ذى الضغط العالي ودارة مغلقة لا تختلف كثيرا عن التدفئة بالماء وبجريان قسرى ، حيث تكون الدارة تحت ضغط اعلى من الضغط الجوى

وهذا يؤدى الى رفع درجة حرارة الماء حسب الضغط المطبق على الدارة لغاية 130 °C او اكثر . تستعمل هذه الطريقة من التدفئة عند وجود مساحات واسعة بينها مسافات كبيرة ويطلب تدفئتها من مصدر واحد ، مثل المعامل الصناعية والورشات .

من ميزاتها صغر حجم الجسم المشع وصغر اقطار الانابيب لان الفرق بين درجة حرارة التغذية ودرجة حرارة الرجوع يمكن ان تتراوح بين 50 ÷ 20 °C .

٦ ـ ٤ ـ ٢ التدفئة بالبخار ذى الضغط العالي : عندما يكون ضغط بخار الماء اعلى من 1,5 bar فان درجة حرارة البخار تكون اعلى من 110 °C . تستعمل هذه الطريقة للتدفئة في المصانع ويفضل الا يزيد ضغط بخار الماء عن 3 bar وفي حال وجود بخار بضغط اعلى من 3 bar يفضل استعمال صمام تعديل يخفض الضغط لغاية 3 bar . كما يجب تركيب مصيدة بخار بعد كل جسم مشع .

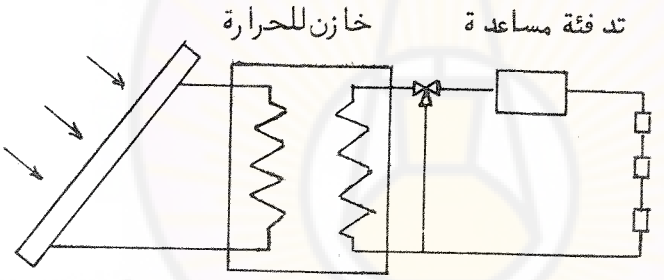
٦ ـ ٤ ـ ٣ التدفئة باستعمال الصفائح المشعة المعلقة : تطلق هذه التسمية على التدفئة التي تستعمل صفائح معدنية بدرجات حرارة مرتفعة وبمساحات صغيرة اذا ما قورنت بمساحة السطوح المدفأة في السقوف او الجدران او الارض . وبموجب هذه الطريقة يتم البث الحرارى بغالبيته بواسطة الاشعاع . وتصنع هذه المبادلات الحرارية من صفيحة معدنية مع وشيعة انابيب فولاذية او نحاسية ملحومة عليها .

يزداد معدل البث الحرارى بالاشعاع المنبعث من السطح الساخن مع زيادة درجة حرارة هذا السطح . لذلك يفضل استعمال هذه

الصفائح عند استعمال التدفئة بدرجات حرارة مرتفعة ٠

يعطى الحمل الحرارى لهذه الصفائح بنشرات من قبل الشركة الصانعة ويمكن استعمال هذه الطريقة في المصانع والورشات الواسعة والاماكن المرتفعة ٠

٦ ـ ٤ ـ ٤ التدفئة بالطاقة الشمسية : تدفئة البيوت باستعمال الطاقة الشمسية يبينه الشكل التالي :



حيث تسقط الاشعة الشمسية على المجمع الشمسي وترفع من درجة حرارة الماء الذى يدفع الى المكان المدفأ او يحفظ في خزان للحرارة ٠ يركب في الدارة مرجل تدفئة مساعد لتغطية الضياعات الحرارية عند غروب الشمس٠

٧ طرق التحكم الاساسية بكمية الحرارة

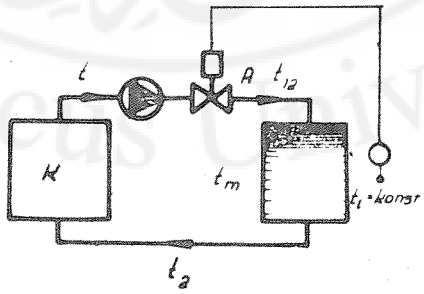
لكي نتمكن من اعطاء كمية محددة من الحرارة الى الاجسام المشعة للحصول على درجة الحرارة المطلوبة الى هذه الاجسام ، يمكننا استعمال طريقتين اساسيتين للتحكم بكمية الحرارة .

١ ـ التحكم بكمية وسيط التسخين (الماء) وذلك اما بتضييق مجرى التغذية او مجرى الرجوع بواسطة الصمامات ، او بطريقة التفريع .

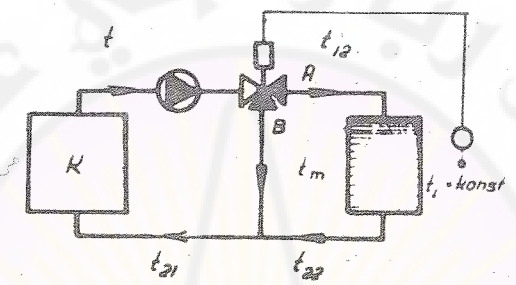
٢ ـ التحكم بخليط مجرى التغذية ومجرى الرجوع .

٧ ـ ١ التحكم بكمية وسيط التسخين :

ان الشكل التالي يبين طريقة التحكم بكمية وسيط التسخين عن طريق تضييق مجرى التغذية باستعمال صمام تحكم ، مع المحافظة على درجة حرارة ثابتة لوسيط التسخين .



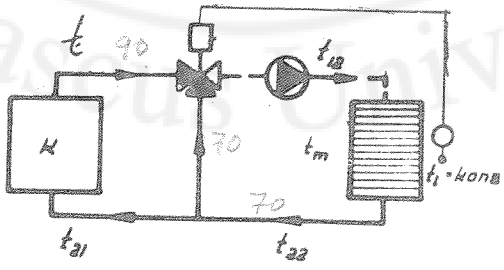
والشكل التالي يبين طريقة التحكم بواسطة صمام ثلاثي بالتفريع حيث يمكن الحصول على درجة الحرارة المطلوبة للجسم المشع.



وتعتبر الطريقتان متشابهتين ، ولكن من وجهة نظر مواصفات وتوازن التحكم فتعتبر الطريقة الثانية افضل من الطريقة الاولى .

٧ ـ ٢ التحكم بخلط ماء مجرى التغذية ومجرى الرجوع:

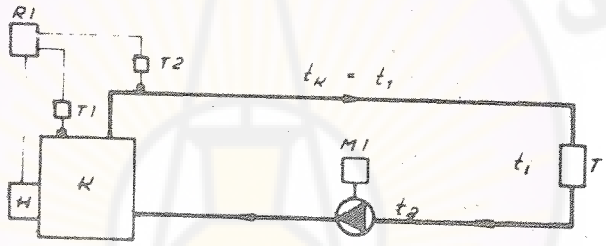
ان الشكل التالي يبين طريقة التحكم بخلط الماء في مجرى التغذية ومجرى الرجوع، حيث يحافظ على تدفق الماء بشكل ثابت وتختلف درجة حرارة التغذية فقط .



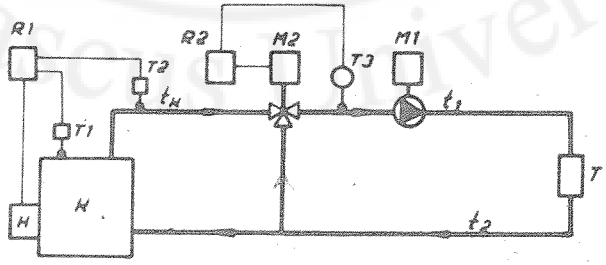
ان التحكم بهذه الطريقة افضل من التحكم بالطرق السابقة وذلك لتوازن الشبكة من الناحية الهيدروليكية ٠

٧ ـ ٣ التحكم بكمية الحرارة طبقا لدرجة حرارة ماء التغذية :

ان التحكم بشبكة التدفئة طبقا لدرجة حرارة وسيط التغذية تعتبر اسهل طريقة في التحكم ٠ والشكل التالي يبين طريقة التحكم :



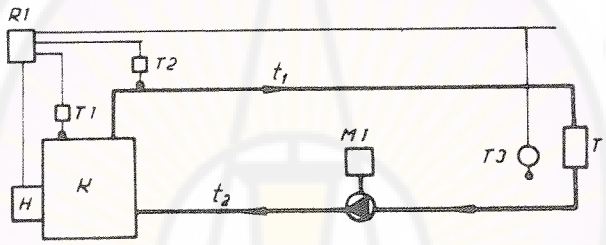
فعند وضع التيرموستات T_2 على درجة معينة وواسطة المنظم R_1 يمكن التحكم بحراق الوقود وبطريقة ON - OFF ٠ اما التيرموستات T_1 فيعتبر امان بحيث لا يسمح لدرجة الحرارة بالارتفاع عن حد معين في المرجل ٠ كما ان الشكل التالي يبين طريقة التحكم بحراقات الوقود بواسطة المحكم R_1 ٠ اما التحكم بدرجة حرارة التغذية t_1 فيتم بواسطة المحكم R_2 ٠



٧ ـ ٤ التحكم طبقا لدرجة حرارة الغرفة الداخلية :

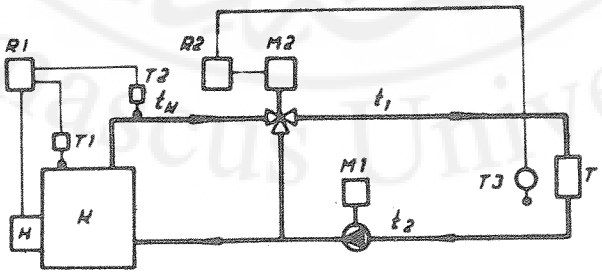
٧ ـ ٤ ـ ١ التحكم طبقا لدرجة حرارة الغرفة الداخلية ـ طريقة مباشرة :

تستعمل هذه الطريقة لأجهزة التدفئة الصغيرة وخاصة لبيوت السكن عند التدفئة الافرادية . حيث يوضع التيرموستات T_3 في غرفة التدفئة . والشكل التالي يبين هذه الطريقة



٧ ـ ٤ ـ ٢ التحكم طبقا لدرجة حرارة الغرفة الداخلية ـ طريقة غيرمباشرة

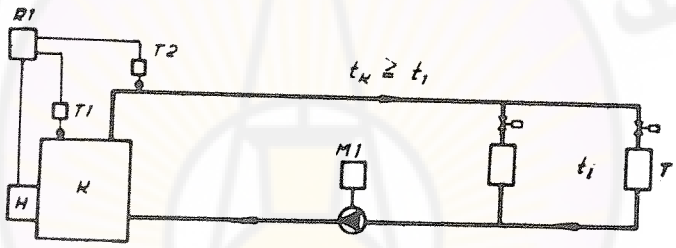
ان الشكل التالي يبين هذه الطريقة حيث تفصل دارة المرجل عن دارة اجسام التدفئة بواسطة صمام خلط ثلاثي



تستعمل هذه الطريقة في الآلات الكبيرة وعند اختـــــلاف اتجاهـــات البنـــاء ٠

٧ ـ ٤ ـ ٣ التحكم طبقا لدرجـة حرارة الغرفة الداخلية ـ طريقة الخلط

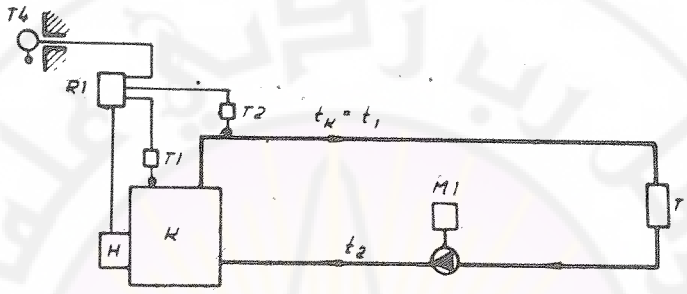
ان هذه الطريقة من التحكم تعتبر افضل طريقة حيث توءمـــن المواصفات المطلوبة لكل غرفـــة ٠ والشكل التالي يبين هذه الطريقـــة



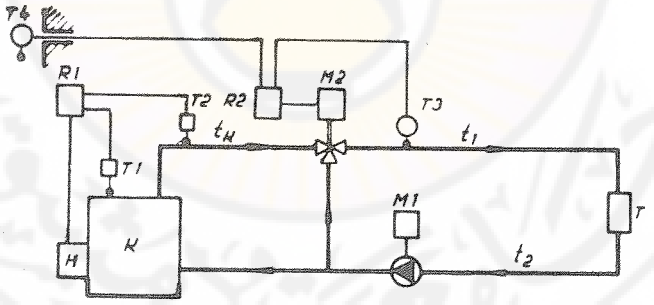
ان المرجل يحتوى على تحكم خاص به والذى يحافظ علـــى درجة حرارة مناسبة في المرجـــل ٠ كما ان كل غرفة تحتوى على صمـام تحكـم آلي يتأثر بدرجـــة حرارة الغرفـــــة ٠

٧ ـ ٥ التحكم بدرجـــة حرارة تغذيـــة الماء بالنسـبة الـــى مواصـــفات الجـــو الخارجـــى

ان درجة الحرارة الخارجية وشدة الاشعاع الشمسي وسرعـــة الرياح والرطوبـــة لها تأثير كبيـــر على الضياع الحرارى للبنـــاء ٠ لذا يستعمل التحكم طبقـــا لدرجـــة الحرارة الخارجيـــة ٠ والشـــكل التالي يبين طريقـــة التحكم المباشـــر



والشـــكل التالي يبين طريقـــة التحكم الغيـــر مباشـــر



هندسة تكييف الهواء

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

١ مقدّمة المؤلّف

ان تعريف هندسة التكييف بشكل عام هو اصلاح الهواء للحصول على درجة الحرارة والرطوبة المطلوبة وعلى نظافة الهواء وسرعة جريانه المناسبة ، وتتضمّن وحدة التكييف ووحدة التبريد بأجزائها المتعددة .

ان جسم الانسان يمكنه أن يتأقلم ويتعوّد على مواصفات مناخية محدودة بدون الشعور بتعب جسمي . أمّا عند زيادة درجة الحرارة والرطوبة النسبية للجو المحيط به وتغيّر سرعة جريان الهواء عن حدود معيّنة فان ذلك يولّد لدى الانسان شعورا بالضيق . ومن المعروف ان الانسان يمكنه حماية نفسه ضد درجات الحرارة المنخفضة وذلك بارتداء الملابس المناسبة . أمّا عند ارتفاع درجة الحرارة وارتفاع نسبة الرطوبة فلا توجد حماية طبيعية وعليه ايجاد السبل الصناعية لذلك .

عند ارتفاع درجة حرارة المحيط ، ترتفع درجة حرارة الجسم وتزداد دقّات القلب ويزداد افراز العرق ، وتنقص بالتالي استطاعة الجسم من الناحية البدنية ومن الناحية الفكرية . كما أنه عند العمل في جوّ حار يصل الانسان الى درجة التعب والانهاك بسرعة وذلك لسوء في الدورة الدموية ولألم في الرأس ولعدم ارتياح نفسي وغير ذلك من الأمور . لذلك فان الاهتمام باصلاح الهواء هو أحد الاسس الرئيسية لرفع المستوى الحياتي والثقافي للناس ، كما أنه عامل فعّال في زيادة انتاج الطبقة

العاملـــــة ٠

تقســـم هندســـة التكييف الى :

ا ـ تكييف لأجل راحـــة الانســـان

ب ـ تكييف لأجل الصناعة (لراحـة الآلات)

وان دراسة التكييف لأجل الراحـة تختلف اختلافا واسـعا عن دراســـة التكييف الصـــناعي ٠

لقد كان المصريون القدماء واليونان والرومان يستعملون اقمشـة مبلّلـة بالماء لتبريد الهواء الداخلي (ترطيبـه)، حيث كانوا يعلّقـون هذه الاقمشة فوق الابواب وعند هبوب الرياح خلال هذه الاقمشة فان تبخّـر الماء كان يبرد الهواء الداخل ويرطّبـه ٠ كما أن الهنود استعملوا هـذا الاسلوب فيما بعد لتبريد القصـور الملكيـة٠ وحوالي سنة ٧٧٥ بنـى الخليفة المهدي في بغداد بيتا صيفيـا يتألف من جدارين بينهما فـراغ هوائي كان يوضـع فيه الثلج الذي يجلب من الجبـال ٠

وتعتبر المدافيء الحجرية التي استعملت لأغراض التدفئـة أوّل جهاز تهويـة يستعمل في الغرف والمنازل حيث كان دخول الهـواء الخارجي مرتبطـا بتدفئـة الهواء الداخلي ٠

وفي حوالي سـنة ١٥٠٠ صمّم الفنـان الايطالـي Leonardo da Vinci أوّل مروحـة ميكانيكيـة لأعمال التهويـة حيث كانت تدار بواسـطة المـاء ٠

عند نهاية القرن التاسع عشـر بدأت الابحاث والتجـارب لتبديل وتغيير الهواء في الاماكن التي يتواجد فيها الناس وذلك بشـكل

اصطناعي . كما بدأ التحكّم بنسبة الرطوبة ونظافة الهواء من الغازات والغبار والابخـــرة .

ويتقدم ابحاث الكهرباء بدأ انتاج المراوح الكهربائية لأغـراض التهوية والتدفئة بالهواء الساخن حيث كانت تستعمل مبادلات حـــرارية مختلفـــة .

هذا وان التقدم في علم الثيرمودينامیك والثيرموكيناتيـــك وميكانيك السوائل ونظريات الجريان كان لها الفضل النظرى الكبير في تقـدّم هذا العلم ، ولكن هندسة التكييف كعلم مستقل بذاته بدئ به منذ أوائـــل هذا القرن في الولايات المتحدة الامريكية وعلى الابحاث والتجارب وجميـــع الاختراعات التي قام بها صانع اجهزة التكييف W. H. Carrier (1876 ÷ 1950) والاعمال المدهشة التي حققها في هذا المجال حيث وضع الحجر الاساسي الذى أدى الى الطرق الحديثة والمتطوّرة في تكييـــف الهواء ومنها تطوير المخطط السايكومترى من قبل Carrier ســـــنة ١٩٠٦ ومن بعده Mollier سنة ١٩٢٣ وغيرهما من العلمـــاء ، وترطيب الهواء ببخ الماء اليـه سنة ١٩٢٠ ، وكذلك التحكّم بدرجـــة الحرارة والرطوبة بواسطة الهواء المضغوط أو بواسـطة التيار الكهربائـــي وغيرها من الاعمال الكثيـرة المدهشـــة .

بعد سـنة ١٩٢٠ بدأ تاريخ التطوّر الكبير لتكنيك التهويـــة والتكييف ، فقد انتجت آلات التكييف لأغراض الراحة (مسرح ، ســـينما ، مكاتب ، اماكن التجمّع المغلقة ، مطارات ، مستشفيات ، الخ ...) ، كما بدئ ايضا في التكييف الصناعي لتحسـين نوعية الانتاج ولزيادتـه ومـــن أجل الحفاظ على مردود جيد لآلات الانتاج مثل صناعة التبغ ، صناعـــة

الورق، صناعة الغزل والنسيج وغيرها من الصناعات حيث كانت تستعمل أجهزة للتبريد تعمل كوسيط للتبريد فيها غاز النشادر أو غاز الفحم .

من سنة ١٩٣٠ بدئ بانتاج آلات التكييف الكبيرة والصغيرة أى آلات التكييف التي تحتوى على جميع العناصر والاجزاء الضرورية لاصلاح الهواء، كما بدئ في انتاج سوائل تبريد غير ضارة بجسم الانسان مثل الفريون بأنواعه المختلفة والمتعددة ، وكذلك انتاج الضواغط المحكمة Compact . كما تمّ تركيب أول اسلوب لتكييف الهواء في محطة قطارات Baltimore و Ohio في الولايات المتحدة الامريكية، وبدأت استعمالات آلات التكييف في بيوت السكن في نفس التاريخ .

ان اكثر الدول تقدّما في انتاج آلات التكييف والتبريد هي الولايات المتحدة الامريكية، وباعتبار ان الطقس في تلك البلاد الشاسعة الواسعة يتغيّر من منطقة الى اخرى، فان انتاج آلات التبريد المستعملة للتكييف وكذلك انتاج آلات التكييف ومتمماتها يحتل القسم الاكبر من الانتاج العالمي وذلك بالنسبة الى اجهزة التكييف الكبيرة واجهزة التكييف الصغيرة .

لقد كانت الولايات المتحدة الامريكية هي القائدة والرائدة في مجال هندسة التكييف الى دول العالم الاخرى ولمدة طويلة . ويمكننا ان نذكر انه يكفي المهندسين المختصين في هذا المجال اصدار مجموعة المراجع مثل Cuid and Data Book والمنشور من قبل American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers والمسمى في الوقت الحاضر ASHRAE Cuid and Data Book

بأجزائه المتعددة الاربعة والذى بقي ولمدة طويلة المرجع الوحيد في مجال هندسة التكييف .

من المؤسسات الامريكية المعروفة والمشهورة في آلات التكييف مؤسسة Carrier Corporation in Syracus (N.V.) حيث تنتج آلات التبريد والتكييف باستطاعات مختلفة ومتباينة ، من ضواغط مكبسية الى ضواغط محوريّة الى آلات تبريد تعمل على ليتين بروميد وآلات تبريد تعمل على مبدأ الشفط وغيرها كثير . ومنها أيضا مؤسسة Trane Co. in La Crosse والمختصّة بشكل كبير بالضواغط المكبسية والمحورية وخاصّة في اشكالها المحكمة والتي تستعمل لتبريد الماء . ومنها أيضا مؤسسة Westinghouse Electric Manufacturing Co in Mansfield والمختصة في آلات التبريد التي تستعمل للتكييف بصورة خاصّة ومنها مؤسسات :

York Co., in York

Chrysler Corp., in Dayton

Kelvinator, in Detroit

وغيرها من المؤسسات الكثيرة المنشورة في أرجاء الولايات المتحدة الامريكية .

أمّا في اوروبا فتعتبر المانيا الغربية وبريطانيا من أكبر الدول لانتاج آلات التبريد والتكييف . وقد كان مستوى التبريد والتكييف قبل الحرب الثانية على مستوى عال في المانيا خاصّة على أيدى بعض العلماء مثل Linde و Mollier و Plank . ومن

أشـــهر المعامل في المانيا لانتاج آلات التبريد والتكييف المعامـــــل والمؤسســـات التاليـــة :

Borsing A.G. - Berlin - Tegel

Rheinkalte in Dusseldorf

Gesellschaft für Lind's Eismaschinen in Wiesbaden

AEG and R. Bosch in Stuttgart

أما بريطانيـــا فان نشـــر مجموعتهـــا IHVE بأجزائها A ، B ، C

The Institution of Heating and Ventilating Eng's

خاصـة في الوحدة العالميـــة SI قد جعلها أحد المصادر الجيّـــدة الى العلملين في هذا المجال . كما أن اشهر المعامل المنتجة لآلات تبريـد وتكييف الهواء في بريطانيـــا هي :

Light Foot Refrigeration Co. Ltd, in Wembly

Hall in Darford

York Shiply in London

Sterne and Co. in Glasgow

كما أن فرنسا وايطاليا وسويسرا لها أهمية ومكانة جيـدة فـي انتاج اجهزة التكييف . وتعتبر الدانمارك من أشهر الدول المنتجـــــة لأجهـــزة التحكم والقياس لأجهـــزة التبريد والتكييـــف بشـــركة :

Danfoss in Nordborg

أما الاتحاد الســوفييتي فان الانتاج الكبيـر والواسـع لآلات التبريـد مخصص فيـــه لحفظ الاغذية وللأعمال الكيميائيـة والبتروكيميائيـــة وللأعمـــال الصناعية الأخـرى ولأعمـــال التكييـــف أيضـا . وان المجلّـة

التي يصـــــــدرها Cholodilnaja Těchmika SSSR
تعتبـــر مرجعـــا ممتازا وشـــيّقا للعامليـــن في هذا المجال.

ان هذا الجزء يتناول بالبحث الاسس النظريـة لهندسـة تكييف الهواء والتي تعتمد على العلوم الأساسية مثل التيرموديناميك وانتقال الحرارة وميكانيك السـوائل وعلم الجريـان بدون أمثلة عمليـة ، حيث ستكون المحاضرات العملية مكمّلـة لهـا ، ولا بدّ الى الطالـب من الرجوع الى المصـادر الاجنبيـة وكاتالوجات الشـركات الصانعـة ونشراتها لكي يتمكّن من متابعـة التطوّر السـريع في هذا العلم .

الدكتـور مروان شـرباتي

٢ المنـــاخ والانســـان

ان الهواء المحيط بالكرة الارضية هو طبقـة غازية كتلتهـــا تقريبا 5.10^{18} Kg وارتفاعها يتراوح بيـن 1200 km ÷ 1000 ، وطبقـــا للابحاث الحديثـــة وبمساعدة الاقمار الصناعيـــة فان آثار الهواء يمكـــن ملاحظتها حتى على ارتفاع من 3000 km ÷ 2000 وتتألف من أربـــع طبقـات هي بالتسـلسـل

١ ـ طبقـــة تربســـفير

٢ ـ طبقـــة ستراتوســـفير

٣ ـ طبقـــة انو ســـفير

٤ ـ طبقـــة اكـو ســـفير

حيث الطبقة الاولى والتي نطلق عليها الهواء تحيط بالكرة الأرضـــية وتؤلف ثلاثة ارباع كتلـة الهواء الكليـــة ، وارتفاعها تابع الى خط العرض حيـــث يبلغ ارتفاعها في القطب حوالي 9 km وفي خط الاستواء حـــوالي 16,5 km . تتميّـز هذه الطبقة بانخفاض درجـة الحرارة والضغـط مـع زيادة الارتفاع عن ســطح البحـر . وتبلغ درجة الحرارة على الحدود بين هذه الطبقة وطبقـة ستراتوسـفير في القطب حوالي 82°C- وفي خـــط الاستواء حوالي 52°C- .

أما الطبقة الثانيـة ستراتوسـفير والتي يتراوح ارتفاعها بيـــن 11 - 30km فتتميز بثبات درجة الحرارة لغاية ارتفاع معيّن ، ثم ارتفـــاع

د رجة الحرارة لتصل الى حدّها الاقصى ، ثم تعود لتنخفض من جديد .

والطبقة الثالثة اونسفير تتميّز بوجود الايونات وكذلك الالكترونات الحرّة فيها ، ود رجة الحرارة فيها تتراوح من د رجة حرارة 0°C ولغاية الحد الاقصى وهي 2200 °C ويتراوح ارتفاعها بين 30 - 800 km .

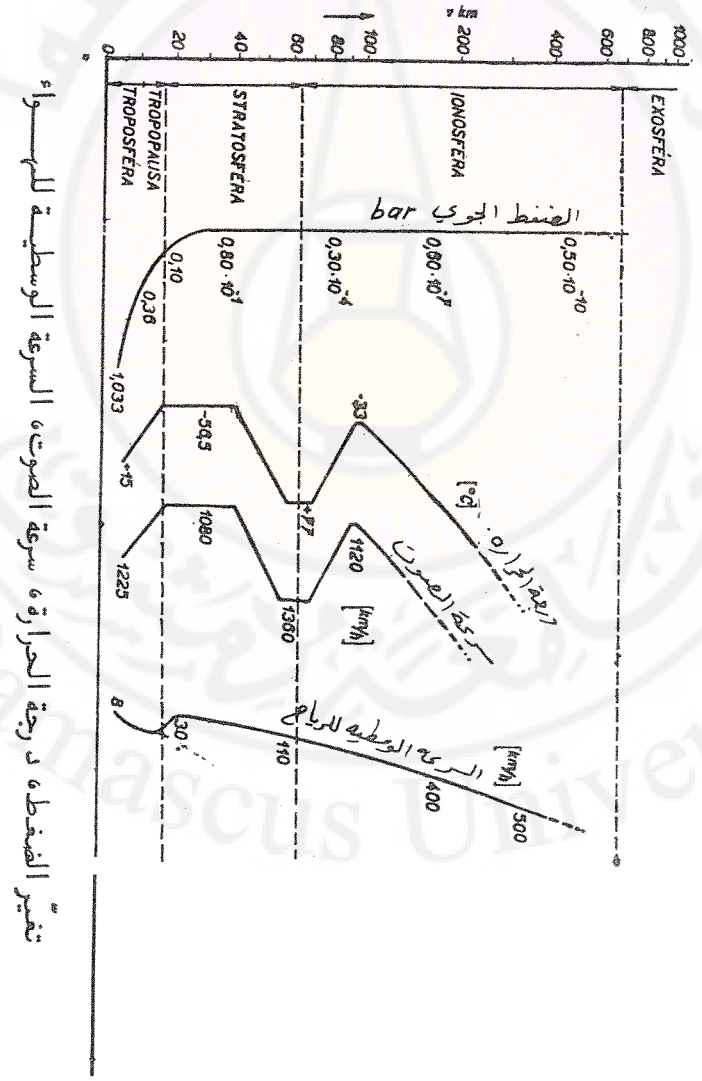
والطبقة الاخيرة اكوسفير يتراوح ارتفاعها بين 480 - 960 km وتتميّز بأن عدد الجزئيات الموجودة فيها قليل جدا بحيث يمكن الافتراض ان الجزئ الذى يتحرك بسرعة كبيرة لا يصطدم مع جزيئات اخرى .

يبيّن الشكل على الصفحة التالية تغيّر الضغط ود رجة الحرارة وسرعة الصوت وسرعة جريان الهواء الوسطية بالنسبة الى الارتفاع عن سطح الكرة الارضية وبالنسبة الى طبقات الجو المختلفة .

٢ ـ ١ الهواء الجوّى الخارجي :

يطلق على الهواء القريب جدا من سطح الكرة الارضية اسم "الهواء الجوّى" . ويتألّف الهواء الجوى من الاوكسجين والآزوت وغاز الفحم والأرغون وقسم ضئيل من الغازات النادرة .

تبيّن اللائحة التالية التركيب الكتلي والحجمي للغازات التي تشكّل الهواء الجوّى .


الارتفاع عن سطح الكرة الأرضية
h km
1000
800
600
400
200
100
80
60
40
20
0
EXOSFÉRA
IONOSFÉRA
STRATOSFÉRA
TROPOPAUSA
TROPOSFÉRA
الضغط الجوي bar
0,50·10⁻¹⁰
0,80·10⁻⁷
0,30·10⁻⁴
0,80·10⁻¹
0,10
0,36
1,033
-33
-54,5
-15
+27
1080
1225
1380
1120
درجة الحرارة °C
سرعة الصوت
[km/h]
السرعة الوسطية للرياح
110
400
500
30
8
تغيّر الضغط، درجة الحرارة، سرعة الصوت، السرعة الوسطية للهواء

الغـــــــاز		بالنسبة الى الحجم (٪)	بالنسبة الى الكتلة (٪)
الآزوت	N^2	78,09	75,5
الاوكسجين	O^2	20,95	23,17
الارغون	Ar	0,93	1,286
غاز الفحم	Co^2	0,03	0,043
نيـــون	Ne	$1,8.10^{-3}$	$1,2.10^{-3}$
هيليـــوم	He	0,0005	0,00007
كريبتون	Kr	0,0001	0,003
كسـينون	Xe	0,000009	0,00004

كما يحتوى الهواء الجوى بالاضافة الى الغازات السابقة كميـة من بخار الماء والتي سنتكلّم عنها بالتفصـيل ، وعلى غاز الاوزون O^3 ونسبـة تركيـزه في الغابات $0,2mg/m^3 - 0,02$ ، وثاني اوكسيد الكربون Co الذى يتشـــكّل عند الاحتراق الغير كامل ويبلـــــغ تركيـــــــــزه

في الشوارع ذات حركة السيارات العاديـــــــة $30\ mg\ /\ m^3$

وفي الشوارع ذات حركة السيارات القويـــــــة $60\ mg\ /\ m^3$

وفـي غـــازات الاحتـــــراق $36.10^3\ mg\ /\ m^3$

ان قوانين الغازات المثالية تنطبق على الهواء الجاف بمجـــال درجـــة الحرارة من C^o 30- ولغايـــــة C^o 130 .

ان ضغط الهواء الجوى تابع الى الارتفاع عن سطح البحـــــر حيث ينخفض الضغط الجوى بازياد الارتفاع عن سطح البحر، وذلك بمعـــدّل

الحرارة للهواء الجوى atmosphere ، وان التوازن بين التبـــادل الحرارى بالاشعاع بين الارض والجو المحيط بها ينعكس على درجة حـــرارة الجو، وتتغيّر هذه الدرجة طبقا الى وضع الشمس في السماء وبالتالي فـــان درجة حرارة الهواء سوف تتغير وتتبدل طبقا الى الوقت .

ان سطح الارض يكون ابرد ما يمكن قبل الفجر بعد ان تكـــون الارض قد بثّت الحرارة الى السماء السوداء وفي حالة عدم وجود غيوم تمنـــع ذلك. ولذلك فمن المألوف اعتبار درجـــة حرارة الهواء ابرد ما يمكن قبـــل ظهور الشمس بســـاعة واحـــدة. وعند بزوغ الشمس تبدأ أشعتها بتدفئـــة سطح الارض التي تؤدى الى ارتفاع درجة حرارة سطح الارض. وعند وصول درجة الحرارة هذه الى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الهواء تبدأ فـــي تدفئة طبقات الهواء المجاورة لها بواسطة الحمل. وبذلك يكون هناك ارتفاع تدريجي في درجة حرارة الهواء مع ارتفاع الشمس في السماء، ويستمر هـــذا الارتفاع حتى بعد أن تمر الشمس في كبـــد السماء zenith . وســـبب ذلك هو الحرارة المخزونة في الارض والتي تسبب استمرار انتقال الحـــرارة بالحمل. لذلك نجد أن درجة الحرارة العظمى للهواء تكون بين حـــوالي الساعة الثانية والثالثة P.M حسب التوقيت الشمسي. علما بأنه لا يحـــدث اختلاف كبيـــر في درجة الحرارة بين الساعة الواحدة والساعة الخامسة P.M حسب التوقيت الشـــمسي .

من ذلك نستنتج انه توجد علاقة بين الوقـــت الشمســـي Sun-Time ودرجة الحرارة الجافة Dry-bulb temperature حيث يمكن تمثيل تلك العلاقة بمنحنى جيبي قد لا يكون متناظرا تمامـــا وذلك لأن الفترة الزمنيـــة بين درجة الحرارة الدنيـــا والعظمى ليست

مساوية للفترة الزمنيـــة بين د رجة الحرارة العظمى والد نيـــا • والمعادلة التقريبية الجيبيـــة التاليـــة توضح ذلك :

$$t = A \sin \left(\frac{360\tau}{\tau_0} + \varphi\right)$$

حيث A هو مطال تغير د رجـة الحرارة

φ التأخـر الابتد ائي

τ الزمـــن

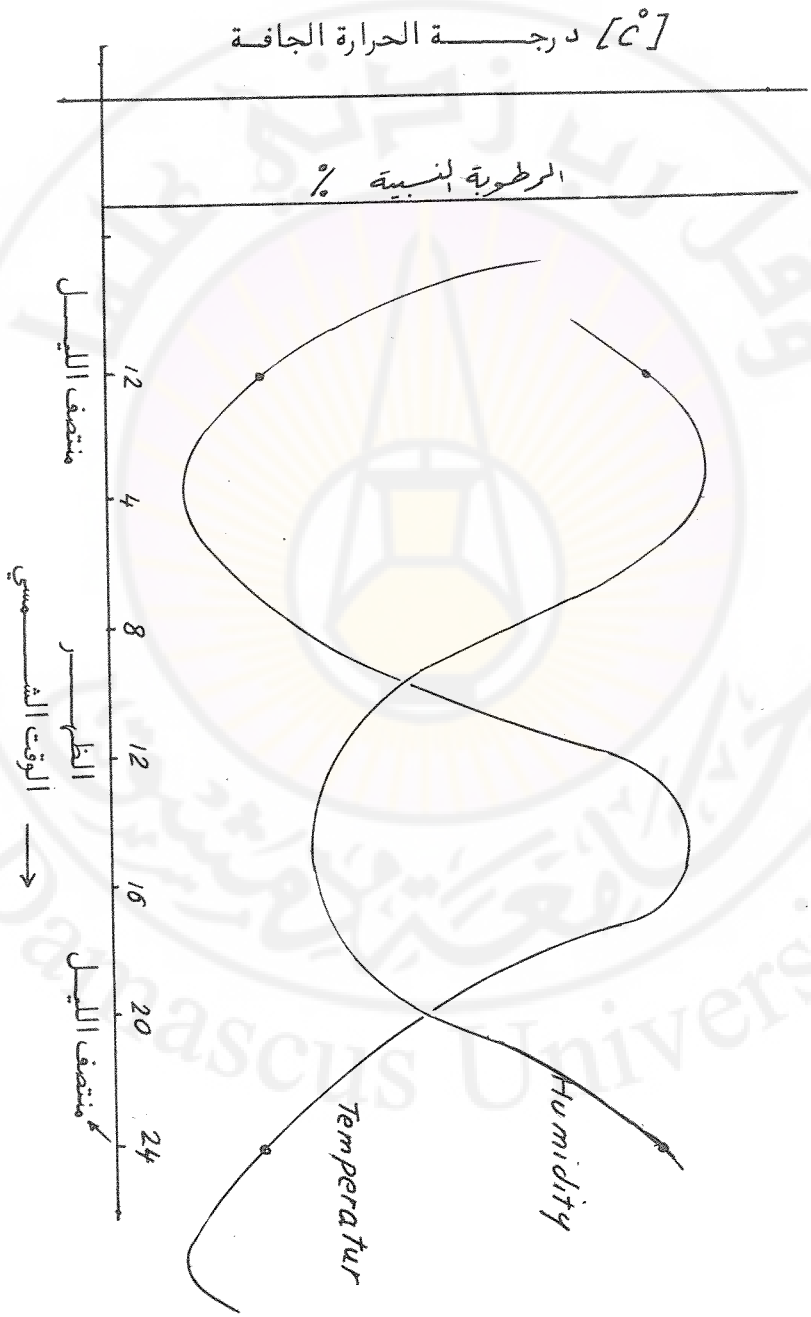
τ_0 زمن د ورة واحـــد ة

علما ان الزاويـــة φ تعين بالمواصفات الاوليـة حيث عند ما يكـــون $\tau = 0$ فان $t = A \sin \varphi$ •

وبنفس الطريقة السابقة يمكننا التعبير ايضا عن تغيرات التد فق الحرارى • هذا ويمكن التعبيـر عن التغيرات الجيبيـة بواسطة الاشعـــة حيث طول الشعاع بمقياس معين يساوى الى مطال تغير د رجـة الحـــرارة والزاويـــة φ مع المحـور x الطور الاولي لهذا التغييـــر• فـاذا د ار هذا الشعاع ضد اتجاه عقارب الساعة فان مسقطه الى المحـــور y يحقق المعادلـة السابقة

$$t = A \sin \left(\frac{360}{\tau_0} + \varphi\right)$$

ان الشـــكل التـــالي يبيـــن تغيّـر د رجـة الحـــرارة الجافـــة بالنســـبة الى الزمـــن •


[C°] درجـــــة الحرارة الجافـة
الرطوبة النسبية %
منتصف الليل
12
4
8
12
16
20
24
منتصف الليل
الظهـــــر
الوقت الشـــمسي
Humidity
Temperatur

علما بأن المنحني الحقيقي يختلف عن المنحني النظرى ويختلف شكله ايضا من شهر الى آخر. هذا ويمكن ايجاد درجة الحرارة التقريبية في كل ساعة من ساعات النهار خلال اشهر الصيف من معرفة مدى درجة الحرارة الجافة اليومية ومعرفة درجة الحرارة التصميمية الخارجية وباستعمال المعادلة التالية :

درجة الحرارة الجافة الخارجية عند اى وقت شمسي = درجة الحرارة التصميمية الخارجية ـ مدى درجة الحرارة الجافة × النسبة المذكورة في الجدول التالي في الساعة المعتبرة .

الوقت الشمسي	%	الوقت الشمسي	%
1	87	13	11
2	92	14	3
3	96	15	6
4	99	16	3
5	100	17	10
6	98	18	21
7	93	19	34
8	84	20	47
9	71	21	58
10	56	22	68
11	39	23	76
12	23	24	82

ونقارن درجات الحرارة طبقا الى القيم الوسطية حيث نميّـــز :

آ ــ متوســـط درجـــة الحرارة اليوميـــة :

Mean Daily Temperature .

وهو متوسط درجات الحرارة المقروءة كل ساعة خلال 24 ساعـــة في اليوم • وعادة مانحصل على هذة الدرجـــة من ثلاث او اربع قراءات في اوقات مختلفـــة وطبقا للعلاقـــة :

$$tdm = \frac{t7 + t14 + 2t21}{4}$$

ب ــ متوســـط درجـــة الحرارة الشـــهرية :

Mean Monthly Temperature

وهومتوسط درجات الحرارة الوسطية اليومية لشهر كامل •

جـ ــ متوســـط درجـــة الحـــرارة الســـنوية :

Mean Yearly Temperature

وهو متوسط درجات الحرارة الوسطية الشهرية خلال 12 شهرا •

د ــ اعلى درجـــة حرارة على الاطـــلاق :

Absolute Maximum Temperature

وهي اعلى درجـــة حرارة تسجل امّـــا ليوم معيّن وعند هـــا تسمى اليومية ، او لشهر معين وعند ها تسمى الشهرية ، او لســـنة معينـــة وعند ها تسمى الســـنوية •

هـ ــ أخفض درجـــة حرارة على الاطـــلاق :

Absolute Minimum Temperature

وهي اخفض درجة حرارة تسجل امّا ليوم معين او لشهر معيـــن

او لســـــنة معيّنـــــة ٠

و ـ متوســـط درجـة الحرارة العظمـى :
Mean Maximum Temperature

وهو متوســـط درجات الحرارة العظمى السنوية لعدة سنوات٠

ز ـ متوســـط درجـة الحرارة الدنيـــا :
Mean Minimum Temperature

وهو متوسط درجات الحرارة الدنيا السنوية لعـدة ســـنوات٠

ح ـ مدى درجـة الحرارة الجافـة اليوميـــة الخارجية :
Outdoor Daily Range of Dry Bulb Temperature

وهو الفرق بين متوسط درجات الحرارة العظمى ومتوسط درجات الحرارة الصغرى المقاسـة خلال أدفىء شـــهر في السنة ٠

٢ ـ ٢ ـ ١ التبادل الحرارى بين جسم الانسان والجو المحيط به :
Bodily Mechanisms of Heat Transfer

عند ما يتناول الانسان الاغذية ، تحدث في جسمه تحـــوّلات وتغيرات بيوكيميائية ينتج عنها كمية من الحرارة تســـمى Metabolic rate ، كما يتحرر الى الوسط المحيط كمية من الحرارة تسمى كمية الحرارة المتحررة ٠ وان هذه الكمية من الحرارة تتعلق بعوامل كثيرة ومتعددة اهمها كثافة العمل الذى يقوم به ، ووزنه ، وطولـه ٠ وقد اعتبر كأساس لذلـــك انسان وزنه 70 kg وطولـه 170 cm وكانت كمية الحرارة التي حـــرّرها هذا الشخص طبقا للجدول التالي ، علما بأن القياســـات عملت من أجـل الحرارة الكلية والحرارة المحسوسة والكامنـــــة :

الحالة	كمية الحرارة المحسوسة المتحررة بـ (W)
الحرارة الاساسية	80 W
هدوء	90 - 95
قراءة	115
القاء محاضرة	140 - 160
عمل متوسط (خيّاط)	120 - 140
عمل فيزيائي متوسط (لحام كهربائي)	140 - 200
عمل فيزيائي شاق (حمّال)	260
الجرى بسرعة 3,5 km/s على سطح افقي	245

ان كمية الحرارة هذه التي يحررها الانسان يجب ان يعوّضها من المواد الغذائية التي يتناولها خلال اليوم.

وللحفاظ على درجة حرارة ثابتة لجسم الانسان والتي تبلغ تقريبا $36,9\ C^{o}$ يجب ان تنتقل كمية الحرارة المتحررة هذه بأكملها الى الجو المحيط به ليحدث توازن حرارى لجسمه . واذا لم يتحقق ذلك فان قسما من كمية الحرارة الواجب تحررها تبقى في جسمه وتؤدى الى رفع حرارة الجسم ، واذا حدث العكس ـ اى اذا انتقلت من جسم الانسان الى الوسط المحيط به كمية من الحرارة اكثر من الكمية التي ينتجها ـ فان ذلك يؤدى الى انخفاض درجة حرارة الجسم ، وفي كلتا الحالتين يؤدى ذلك الى عدم الشعور بالراحة .

ان أخفض درجة حرارة لجسم الانسان يمكنه ان يتحمّلها هي

C^{o} 23 وأعلى درجة حرارة يمكنه ان يتحمّلها هي C^{o} 42 ، علما بـــأن الانسان يبقى حيا عندما تكون درجة الحرارة المحيطة به C^{o}50- وأعلـــى درجة حرارة محيطة يه هي C^{o} 115 ولكن ليس لمدة طويلـــة .

ان كمية الحرارة التي تنتقل من جسم الانسان الى الوســـط المحيط به تنتقـل بواســـطة

١ ـ الانتقـــال Conduction

٢ ـ الحمـــل Convection

٣ ـ الاشـــعاع Radiation

٤ ـ التبخّر (التنفس والتعرّق) Evaporation

فاذا انتقل القسم الاكبر من كمية الحرارة بواسطة الحمـــل والاشعاع سمّي ذلك تبريدا جافا . اما اذا ارتفعت درجة حرارة الجـــو اكثر من قيمـة معينة ، او ازدادت كمية الحرارة التي ينتجها الانسان نتيجة العمل الذى يقوم به ، فان انتقال الحرارة بواسطة الحمل والاشعاع لا يكفـي لنقل كامل الانتاج الحرارى لذلك ، ولتحقيق التوازن الحرارى يزداد افراز العرق وتزداد كمية هواء التنفس وبالتالي يتبخّـر هذا العرق وتنتقل الحرارة الزائدة الى الوسط المحيط ويسمّى ذلك تبريدا رطبـــا .

سنبحث بالتفصـيل في انتقال الحرارة من جسم الانســـان الى الوسـط المحيط .

٢ ـ ٢ ـ ١ انتقال الحرارة من جسم الانسان الى الوسط المحيط بواسطة الانتقـــال Conduction :

ان كمية الحرارة التي تنتقل بواسطة الانتقال ليس لها قيمـــة

كبيرة على التوازن الحرارى لجسم الانسان ، وقيمتها تتعلق بالقسم من جسم الانسان الذى هو بحالة تماس مباشر مع اجسام اخرى تختلف عنه في درجة الحرارة ، مثل الارض ، المقعد ، الجدار ، الخ ـــ

٢ ـ ٢ ـ ٢ انتقال الحرارة من جسم الانسان الى الوسط المحيط به بواسطة

بواسطة الحمل : Convection

ان كمية الحرارة التي تنتقل بواسطة الحمل تعطى بالعلاقة :

$$Q_c = \alpha_c \cdot S \cdot (t_k - t_a)$$

حيث α_c هي عامل انتقال الحرارة بواسطة الحمل لسطح جسم الانسان $(W / m^2 \cdot K)$

S سطح جسم الانسان $[m^2]$

t_k درجة حرارة جسم الانسان الوسطية

t_a درجة الحرارة الوسطية للهواء المحيط بالانسان

ان عامل انتقال الحرارة بالحمل α_c يتعلق بسرعة جريان الهواء وقيمته التقريبية هي :

عند ما تكون سرعة جريان الهواء $w < 0,1\ m/s$ فان

$$\alpha_c = 3,5 \sqrt[4]{t_k - t_a}$$

عند ما تكون سرعة جريان الهواء $w > 0,1\ m/s$ فان

$$\alpha_c = 13 \sqrt{w}$$

كما أن درجة حرارة سطح جسم الانسان (درجة حرارة الجلد) تتعلق بدرجة حرارة الهواء وليست متساوية على كل انحاء جسم الانسان . والجدول التالي يبين درجة حرارة جلد الانسان بالنسبة

الى شـــخص بحالـــة الراحـــــة :

د رجة حرارة الهواء	C^o	10	15	20	25	30	34	38
د رجة حرارة جلد الانسان	C^o	29	29,2	30	31,9	33,5	35	36

أما سطح جسم الانسان فيمكن اعتباره مساويا الى $1,8\ m^2$.

٢ ـ ٢ ـ ٣ كمية الحرارة المتبادلة بين جسم الانسان والسطوح المحيطـــة به بواســـطة الاشعاع : Radiation :

ان كمية الحرارة التي تنتقل بواسطة الاشعاع تعطى بالعلاقـــة التاليـــــــة :

$$Q_R = c \cdot \acute{S} \left[\left(\frac{T_k}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{rm}}{100} \right)^4 \right]$$

حيث c عامل الاشعاع المتبادل بين جسم الانسان والسطوح المحيطـة به وقيمته بالنسبة الى جلد الانسان والى الالبسة النسيجيـــة التي يرتديها هـــي : $5,2\ w/m^2.K^4$

$\acute{S}$ هو سطح جسم الانسان الذى يتبادل الحرارة مع الســـــطوح المحيطـــة بـــه : $\acute{S} = 0,855$

T_k د رجـة حرارة سطح جسم الانسان ^oK

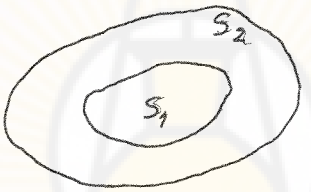
T_{rm} د رجة الحرارة الاشعاعية الوسطية للسطوح المحيطة بجســـم الانسان ^oK وهي د رجة حرارة معتبرة لكل السطوح المحيطة به بحيث ان التأثير الاشعاعي لهذه السطوح التي د رجـــة حرارتها متساوية وتســاوى t_{rm} هو نفس التأثير الاشعاعي عند ما تكون د رجة حرارة السطوح مختلفة وتعطى بالعلاقـــة

التاليـــــــــة :

$$trm = \sqrt[4]{\varphi_{1m} T_1^4 + \varphi_{2m} T_2^4 + \varphi_{3m} T_3^4 + \cdots} - 273$$

حيث φ هي نسبة الاشعاع وتساوى الى الجزء من كمية الحرارة الكليـــة المرسلة من السطح المشع التي تسقط على السطح المشع عليه . وان الرقـم 1 يدل على الجسم المشع و m الجسم المشع عليـــه .

فمثلا ، اذا كان لدينا السطح S_1 والسطح S_2 كما فـي الشـــكل



فان $\varphi_{12} = 1$ وان $\varphi_{21} = \frac{S_1}{S_2}$

حيث φ_{21} تبين الجزء من كمية الحرارة المرسلة من السطح S_2 التـــي تسقط على السطح S_1

φ_{12} الجزء من كمية الحرارة المرسلة من السطح S_1 والتي تقع علـى السطح S_2

واذا لم تكن درجات حرارة السطوح المجاورة أعلى من 50 c°

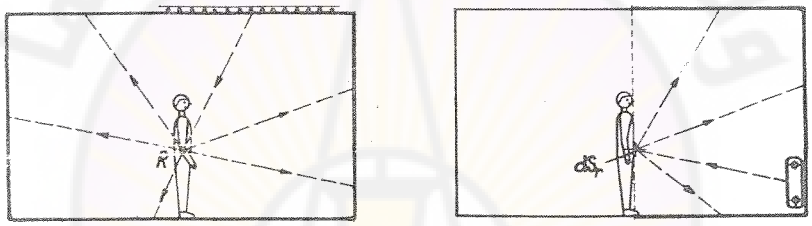
فان العلاقـــة السابقة تصـــبح :

$$trm \doteq \varphi_{1m} \cdot t_1 + \varphi_{2m} \cdot t_2 + \varphi_{3m} \cdot t_3 + \cdots\cdots$$

او $$trm \doteq \frac{S_1 \cdot t_1 + S_2 \cdot t_2 + S_3 \cdot t_3 + \cdots + S_n \cdot t_n}{S_1 + S_2 + S_3 + \cdots S_n}$$

ان قيمة trm يجب ان تحسب بالنسبة الى سطح جسم الانسان ، ولكـــن

باعتبار ان مقاييس الغرفة أكبر بكثير من مقاييس جسم الانسان ولسهولة الحساب فانه يكفي حساب trm بالنسبة الى نقطة واحدة في مكان القياس وعادة ما تكون هذه النقطة على ارتفاع $0,75 \div 1m$ عن سطح الارض كما يظهر في الشكل :



ان درجة الحرارة الاشعاعية الوسطية للسطوح المجاورة trm تقاس بالمقياس الكروى Vernon الذى قطره $150\ mm$. فاذا كانت درجة الحرارة التي تقاس بالمقياس الكروى tg ودرجة حرارة الهواء الجافة ta ودرجة الحرارة الاشعاعية الوسطية للسطوح المجاورة trm فان العلاقة التالية تربط هذه القيم :

$$tg = \frac{trm + 2,35\ ta\sqrt{W}}{1 + 2,35\sqrt{W}}$$

او العلاقة $trm^4 \cdot 10^{-9} = Tg^4 \cdot 10^{-9} + 1,442 \cdot (Tg - Ta)\sqrt{W}$

حيث Trm [K] درجة الحرارة الوسطية الاشعاعية (للسطوح المجاورة)

Tg [K] درجة الحرارة المقاسة بالمقياس الكروى

W [m/s] سرعة الهواء

Ta [K] درجة الحرارة الجافة للهواء

هذا ويمكن كتابة المعادلة السابقة بالشكل :

$$Q_R = C\,\acute{S}\left[\left(\frac{T_K}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{rm}}{100}\right)^4\right]$$

$$Q_R = \alpha_R \cdot \acute{S}\,(t_K - t_{rm})$$

حيث

$$\alpha_R = C\,\frac{\left(\frac{T_K}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{rm}}{100}\right)^4}{t_K - t_{rm}} = C \cdot B$$

٢ ـ ٣ ـ ٤ انتقال الحرارة من جسم الانسان الى الوسط المحيط به بواسطة التبخّر Evaporation :

ان انتقال الحرارة من جسم الانسان الى الوسط المحيط به بواسطة التبخر يتمّ بطريقتين هما التعرّق والتنفس:

آ ـ التعرّق : ان كمية الحرارة المتبادلة مع الوسط المحيط بواسطة التعرق تعطى بالعلاقة التالية حيث أنّ تبخر الماء مصحوب بانتقال الحرارة

$$Q_w = \alpha_w \cdot S_w\,(P''_w - P_w)$$

حيث α_w عامل انتقال الحرارة عند تبخر العرق من سطح جلد الانسان $[W/m^2.Pa]$

S_w سطح جسم الانسان المبلل بالعرق وقيمته في الحالة العادية $0{,}2\,S$ ويمكن ان يصل عند القيام بأعمال شاقة الى $S\ 1$

P''_w الضغط الجزئي لبخار الماء المشبع في الهواء عند درجة حرارة مساوية لدرجة حرارة سطح جسم الانسان $[Pa]$

P_w الضغط الجزئي لبخار الماء في الهواء المحيط $[Pa]$

ان قيمة αw من اجل شخص لا يرتدي ملابس تعطى العلاقة :

$$\alpha w = 0,102 + 0,008\, w$$

ومن اجل شخص يرتدي البسة متوسطة تعطى بالعلاقة :

$$\alpha w = 0,00937\ K$$

حيث w سرعة جريان الهواء بـ m/s

K عامل انتقال الحرارة الكلية كما سيأتي شرحه .

ب ـ التنفّس: ان تبخر الماء مصحوب كما قلنا بانتقال للحرارة ، وان كمية الهواء التي يتنفسها الانسان الى الرئتين تابعة الى العمل الفيزيائي الذي يقوم به وتتراوح بين $8 \div 30$ $litr/min$. ان هذا الهواء يسخن في الرئتين لغاية درجة حرارة $37\,C^{\circ}$ ويترطب لغاية رطوبة نسبية تساوى 100% . ان كمية الحرارة التي تنتقل من جسم الانسان بواسطة التنفس تعطى بالعلاقة التالية :

$0,5\ m^3/h$

$$Q_E = V_a \cdot \rho_a \,(i_2 - i_1) \quad [W]$$

حيث V_a $[m^3/s]$ تدفق الهواء الذي يتنفسه الانسان

ρ_a $[kg/m^3]$ الكتلة النوعية للهواء kg/m^3

i_2 انتالبي هواء الزفير J/kg

i_1 انتالبي هواء الشهيق J/kg

ان شرط التوازن الحراري لجسم الانسان كما قلنا هو تحقّق المعادلة التالية :

$$Q = \pm Q_c \pm Q_R \pm Q_w \pm Q_E \pm Q_a$$

Q_a كمية الحرارة المختزنة في جسم الانسان وفي الحالة المستقرة

فان الانسان يشعر بالراحة عندما تكون $Qa = 0$.

ان شرط التوازن الحرارى هو شرط ضرورى لراحة الانسان ولكنه غير كاف، حيث انه في حالة الوصول الى التوازن الحرارى بواسطة التعرق فقط فان ذلك لايؤدى الى راحة الانسان .

هناك رقم يحدد الراحة الحرارية للانسان ويعطى بالعلاقة التقريبية التالية :

$$No = \frac{Q-(Qc+QR)}{Qw}$$

فان كان $N < 0,2$ فان الانسان يشعر بالراحة

وان كان $N = 0,2 \div 0,3$ فان الانسان يشعر بضيق بسيط حيث يكون الجلد جافا

وان كان $N = 0,3 \div 0,5$ فان الانسان يشعر بضيق وذلك لوجود العرق على الجبهة وعلى الوجه والظهر

وان كان $N > 0,5$ فان الانسان يشعر بضيق محسوس وتعرق شديد على الجسم حيث يتصبب العرق منه

كما انه يعطي في بعض الاحيان درجة حرارة جلد الانسان المريحة له ، وطبقا الى Fonger فان هذه الدرجة تعطى بالعلاقة :

$$t_K = 35,7 - 0,0275 \frac{Q}{S}$$

وفي بعض الاحيان تعطى كمية الحرارة الوسطية المتبادلة بالتعرق والتي تؤدى الى الراحة طبقا للعلاقة :

$$Qw = 0,36\, S \left(\frac{Q}{S} - 50\right)$$

هذا ويمكن تدقيق الراحة الحرارية في داخل المعامل في فصل الشتاء بحيث تتحقق معنا المعادلات التالية :

عند القيام بعمل فيزيائي بسيط $ta + t_{rm} = 36\ C^{\circ}$

عند القيام بعمل فيزيائي متوسط $ta + t_{rm} = 32 \div 36\ C^{\circ}$

عند القيام بعمل فيزيائي شاق $ta + t_{rm} = 26 \div 32\ C^{\circ}$

عند القيام بعمل فيزيائي شاق جدا $ta + t_{rm} = 20 \div 26\ C^{\circ}$

٢ ـ ٣ الألبسة :

ان الالبسة تشكل على سطح جسم الانسان طبقة عازلة مؤلفة من عدة طبقات من الالبسة يتواجد بينها مسامات وطبقات من الهواء العازل .

ان كمية الحرارة التي تنفذ من جسم الانسان خلال طبقات الالبسة الى الجو المحيط تساوى الى مجموع انتقال الحرارة بالحمل والاشعاع من الثياب والتعرق من الجلد .

ان درجة حرارة سطح الالبسة تتعلق بدرجة حرارة الهواء الخارجية والمقاومة الحرارية لهذه الالبسة . هذا وان كمية الحرارة المأخوذة من سطح الالبسة بالحمل والاشعاع تحسب من العلاقة :

$$Q_C + Q_R = \Lambda \cdot A\,(t_K - t_P)$$

حيث Λ عامل الناقلية الحرارية للالبسة وللفراغات الهوائية بينها W/m^2K

ويساوى $\Lambda = \frac{1}{R} = \Sigma\left(\frac{L}{\lambda}\right)$ للالبسة $+ \Sigma\left(\frac{L}{\lambda}\right)$ للفراغات الهوائية

ان قيمة Λ تابعة الى عدد طبقات الالبسة كما هو مبين على الصفحة التالية بالنسبة الى تغيّر سرعة جريان الهواء ، كما انه مذكور في نفس الجدول قيمة عامل انتقال الحرارة بالحمل α_c من سطح الالبسة .

من اجمالي المقاومة الحرارية فان 70% ÷ 85% يقع على الفراغات الهوائية بين الالبسة .

L [m] سماكة الالبسة او الفراغات الهوائية

λ [w/mc] عامل التوصيل الحرارى للالبسة او الفراغات الهوائية

t_K درجة حرارة سطح جلد الانسان

t_p درجة حرارة سطح الالبسة الخارجية

اذا عوّضنا في المعادلة $Q_c + Q_R = \Lambda \cdot S (t_K - t_p)$ قيمة $Q_c + Q_R$ نحصل على

$$\alpha_c \cdot S (t_p - t_a) + \alpha_R S (t_p - t_{rm}) = \Lambda \cdot S (t_K - t_p)$$

$$\alpha_c \cdot t_p - \alpha_c \cdot t_a + \alpha_R \cdot t_p - \alpha_R \cdot t_{rm} = \Lambda \cdot t_K - \Lambda t_p$$

$$\alpha_c \cdot t_p + \alpha_R \cdot t_p + \Lambda \cdot t_p = \alpha_c \cdot t_a + \alpha_R \cdot t_{rm} + \Lambda \cdot t_K$$

$$t_p (\alpha_c + \alpha_R + \Lambda) = \alpha_c \cdot t_a + \alpha_R \cdot t_{rm} + \Lambda t_K$$

ومنه درجة حرارة سطح الالبسة

$$t_p = \frac{\alpha_c \cdot t_a + \alpha_R \cdot t_{rm} + \Lambda \cdot t_K}{\alpha_c + \alpha_R + \Lambda}$$

اذا افرضنا ان $t_a = t_{rm} = t_g$ حيث t_g درجة الحرارة المقاسة بواسطة مقياس Vernon (اى المقياس الكروى) تصبح المعادلة :

نـــــوع اللبـــــاس	عامل الناقليـة الحرارية $\Lambda [W/m^2 \cdot K^\circ]$ عامل انتقال الحـرارة بالحمل $\alpha_c [W/m^2 K]$	سـرعة جريان الهـــواء [m/s]					
		1	2	3	4	5	6
قميص داخلي وخارجـــي	Λ	12,1	14,1	16,7	—	—	—
	α_c	6,3	15,2	25,4	—	—	—
قميص داخلي وخارجـي مع جـــاكيـــت	Λ	5,9	5,9	6,5	7,3	8,3	9,6
	α_c	6,3	13	20,2	27,9	37	47,7
قميص داخلـــي وخارجـي مع جاكيت وبانطـــــو	Λ	4,2	4,4	5,1	5,8	6,7	7,6
	α_c	6,3	13,6	22,1	31,2	41,6	53

$$t_p = \frac{(\alpha_c + \alpha_R)\cdot t_g + \Lambda t_K}{\alpha_c + \alpha_R + \Lambda}$$

وعند تعويض قيمة t_p تصبح لدينا المعادلة :

$$Q_c + Q_R = \Lambda \cdot S\left(t_K - \frac{(\alpha_c + \alpha_R)t_g + \Lambda \cdot t_K}{\alpha_c + \alpha_R + \Lambda}\right)$$

$$Q_c + Q_R = \Lambda \cdot S\left(\frac{t_K\cdot\alpha_c + t_K\cdot\alpha_R + t_K\Lambda - t_g\cdot\alpha_c - t_g\cdot\alpha_R - \Lambda t_K}{\alpha_c + \alpha_R + \Lambda}\right)$$

$$= \Lambda \cdot S\ \frac{t_K(\alpha_c + \alpha_R) - t_g(\alpha_c + \alpha_R)}{\alpha_c + \alpha_R + \Lambda}$$

$$= \Lambda \cdot S\ \frac{(\alpha_c + \alpha_R)(t_K - t_g)}{\alpha_c + \alpha_R + \Lambda}$$

$$= S\ \frac{t_K - t_g}{\frac{\alpha_c + \alpha_R}{\Lambda(\alpha_c+\alpha_R)} + \frac{\Lambda}{\Lambda(\alpha_c+\alpha_R)}} = S\frac{t_K - t_g}{\frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{\alpha_c+\alpha_R}}$$

$$= S\ \frac{t_K - t_g}{R + \frac{1}{\alpha_c+\alpha_R}} = S\ \frac{t_K - t_g}{R_c} = SK(t_K - t_g)$$

حيث R_c هي المقاومة الحرارية الكلية لطبقات الملابس مع طبقات الهواء والمقاومة عند انتقال الحرارة بالحمل والاشعاع.

K هي الناقلية الحرارية الكلية لطبقات الملابس مع طبقات الهواء والناقلية الحرارية عند انتقال الحرارة بالحمل والاشعاع.

هذه المعادلة تسمح لنا وبسهولة حساب مجموع انتقال الحرارة بالحمل والاشعاع وبمساعدتها كمية انتقال الحرارة بالتعرق وذلك من معادلة التوازن الحرارى لجسم الانسان :

$$Q = Q_C \pm Q_R \pm Q_W \pm Q_E$$

$$Q_W = Q - Q_C - Q_R - Q_E = Q - Q_E - (Q_C + Q_R)$$

$$= Q - Q_E - \lambda \frac{t_K - t_g}{R_C}$$

من هذه المعادلة ينتج ان العوامل التي توثّر على راحة الانسان من الناحية الحرارية هي درجة الحرارة المقاسة بمقياس Vernon ، اى تأثير درجة حرارة الهواء المحيط ، درجة الحرارة الاشعاعية للسطوح المجاورة ، سرعة جريان الهواء ، رطوبة الهواء ، المقاومة الحرارية للألبسة .

يوضح الجدول التالي قيم K ($W/m^2 C^\circ$) بالنسبة الى الالبسة العادية المؤلفة من طبقة واحدة ولغاية ست طبقات وعندما تكون سرعة الهواء $w = 0$ نرمز لها بـ K_0 .

عدد طبقات الالبسة	0	1	2	3	4	5	6	7
القيمة الوسطية لـ K_0	8,54	5,75	4,53	3,72	3,26	3,02	2,79	2,63

اما عندما تكون سرعة جريان الهواء w فتعطى بالعلاقة :

$$K \simeq K_0 (1 + 0,25\, w)$$

هذا ومن وجهة النظر الحرارية فان افضل عازل حرارى (اى اكبر مقاومة حرارية) هو للالبسة الجلدية ، وذلك لأن هذه الألبسة تشكل طبقة هوائية عازلة مقاومة لانتقال الحرارة . ومن قياس العازلية الحرارية للالبسة يتبين ان نسبة 70 ÷ 80 % من هذه العازلية هو نتيجة الفراغات الهوائية والطبقات الهوائية ونسبة 20 ÷ 30% يقع عاتقه على الالبسة .

ومنه ينتج ان وظيفة الالبسة بالدرجة الاولى هي تشكيل فراغات وطبقات هوائية بين جسم الانسان والجو المحيط به وبالدرجة الثانية مواصفات الالبسة من الناحية الحرارية . لذلك يجب انتقاء الالبسة بشكل دقيق في ايام الصيف وفي ايام الشتاء وفي المعامل من حيث النوع والشكل واللون .

هذا ويستعمل في بريطانيا مقياس آخر للتعبير عن المقاومة R_c (العازلية) الحرارية للالبسة ويرمز له بـ Clo حيث $1\ Clo$ يؤمن الراحة الحرارية للانسان في حالة الهدوء وعند رطوبة نسبية اقل من 50% وسرعة جريان الهواء $3\ m/s$ ودرجة حرارة الغرفة $22\ C^\circ$ ودرجة حرارة جلد الانسان $33\ C^\circ$ وعمليا فان :

$$1\ Clo = \frac{1}{6,5}\ m^2\ C^\circ/W$$

ان افضل عازلية للالبسة هي $1,6\ Clo$ لكل $1\ cm$ من سماكة هذه الالبسة، علما ان الطبقة الهوائية تشكل عازلية قيمتها تقريبا $0,5\ Clo$.

مسـألة :

احسب التوازن الحرارى لشخص ينتج 180 W من الحرارة في غرفة د رجة حرارتها 28 c° ، د رجة الحرارة الاشعاعية للسطوح المجاورة 30 c° ، سرعة جريان الهواء في الغرفة 0,5 m/s ، الرطوبة النسبية في الغرفة 40 % . الالبسة التي يرتديها خفيفة جدا وتتألف من طبقة واحدة من الخيوط . اهمل انتقال الحرارة بالانتقال .

الحـل

نحسب د رجة حرارة سطح اللباس الذى يرتديه وتلزمنا لذلك المعلومات التالية :

- عامل انتقال الحرارة بالحمل نجده من الجداول وعند سرعة جريان

$$\alpha_c = 10,7 \ W/m^2K \cdot 0,5 m/s$$

- كما نوجد عامل الناقلية الحراريةللالبسة والفراغات الهوائية

$$\Lambda = 13 \ W/m^2 K$$

- د رجة الحرارة السطحية لجلد الانسان $t_K = 33,5 \ c°$
- سطح جسم الانسان نفترضه

$$S = 1,8 \ m^2 \ ، \ \acute{S} = 0,85 S = 1,53 \ m^2$$

- عامل التبادل الحرارى بالاشعاع $C = 5,23 \ W/m^2 °K$
- عامل انتقال الحرارة بالاشعاع بعد تخمين د رجة حرارة سطح الالبسة $t_p = 31 \ c°$ تحسب من العلاقة

$$\alpha_R = C \frac{T_p^4 - T_{rm}^4 \ \acute{S}}{10^8 (t_p - t_{rm}) S} = 5,23 \frac{(304)^4 - (303)^4}{10^8 (31-30)} \cdot 0,85 = 4,97 \ W/m^2°K$$

$$t_p = \frac{\alpha_c \cdot t_a + \alpha_R \cdot t_{rm} + \Lambda t_K}{\alpha_c + \alpha_R + \Lambda} = \frac{10,7 \cdot 28 + 4,97 \cdot 30 + 13 \cdot 33,5}{10,7 + 4,97 + 13} = 30,8\,^{\circ}C$$

نحسب الان كمية انتقال الحرارة بالحمل والاشعاع

$$Q_c + Q_R = \Lambda \cdot S(t_K - t_p) = 13 \cdot 1,8\,(33,5 - 30,8) = 63,1\ W$$

اذا فرضنا ان الشخص يتنفس $V_a = 15\ litr/min$ فان كمية الحرارة التي تنتقل بالتنفس

$$Q_E = V_a \cdot \gamma_a (i_2 - i_1) = \frac{15}{60} \cdot 10^{-3}\, 1,14\,(147 - 52,8) \cdot 10^3 = 26,8\,W$$

وان كمية الحرارة التي تنتقل بواسطة التعرّق تساوى

$$Q_W = Q - Q_E - (Q_c + Q_R) = 180 - 26,8 - 63,1 = 90,1\,W$$

الناقلية الحرارية الكلية لطبقات الملابس مع طبقات الهواء مع الناقلية الحرارية عند انتقال الحرارة بالحمل والاشعاع

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{\alpha_c + \alpha_R}} = \frac{1}{\frac{1}{13} + \frac{1}{10,7 + 4,97}} = 7,1\ W/m^2{}^{\circ}K$$

عامل انتقال الحرارة بواسطة التبخر

$$\alpha_W = 0,00937\,K = 0,00937 \cdot 7,1 = 0,0666\ W/N$$

رقم الراحة

$$N_0 = \frac{Q - (Q_c + Q_R)}{\alpha_W \cdot S(P_W'' - P_W)} = \frac{180 - 63,1}{0,06666 \cdot 1,8\,(5175 - 1515)} =$$

$$= 0,266$$

ان هذا الرقم يقابل شعورا بسيطا بالضيق .

مواصفات الراحة الحرارية

٣ للوسط المحيط بالانسان

ان الانسان يشعر بالراحة ويقوم بالانتاج الجيد عندما يكون الجو المحيط به والذى يعيش فيه يحقق شروطا خاصة، كما ان الالات يمكن ان تعمل بشروط جيدة عندما تتحقق لها شروط داخلية خاصة ايضا.

ان تعريف الراحة ليس بالشيء السهل وذلك لانه يتعلّق بعوامل كثيرة وغير محددة بدقة، وهو تعريف نسبي ويختلف من انسان الى آخر حسب العمر، الجنس، الوزن، العادة ... الخ. ويمكننا تلخيص العوامل التي تؤثر على راحة الانسان بما يلي :

١ ـ درجة حرارة الهواء المحيط

٢ ـ درجة حرارة الجدران والسطوح والارض والاجسام الاخرى التي تجاوره

٣ ـ الرطوبة النسبية للهواء المحيط (او درجة الحرارة الرطبة)

٤ ـ سرعة جريان الهواء المحيط

٥ ـ نظافة الهواء المحيط

٦ ـ الالبسة التي يرتديها

٧ ـ الضغط الجوى، الانارة، الضجيج، كمية التيارات الكهربائية المغناطيسية

٨ ـ الجنس والعرق

٩ ـ طبيعة العمل الذى يقوم به، وزنه، طوله، عمره.

١٠ ـ امكانية التأقلم مع الجو المحيط بـــه ٠

هذا ويمكننا التحكم ببعض هذه العوامل وجعلها مناسبـــة لراحة الانسان ، اذ من المعروف ان درجة حرارة الهواء المريحة للانســان هي بين $18 \div 26\ C^{\circ}$ حيث يمكن الحصول عليها بواسطة التدفئـــة فـي الشتاء او التبريد في الصيف ٠ كما أن الرطوبة النسبية المريحة له تتـــراوح بين $40 \div 70\ \%$ والتي يمكن التحكم بها بواسطة الترطيب، كما يمكـــن ايضـا التحكم بســـرعة جريان الهواء ٠

ولتحديد الراحة الحرارية للانسان علينا ان ندرس التبـــادل الحرارى بين جسم الانسان والوســط الخارجي المحيط به كما رأينا سابقا ٠

٣ ـ ١ مخطط الراحة الحراريـــة Comfort Scales :

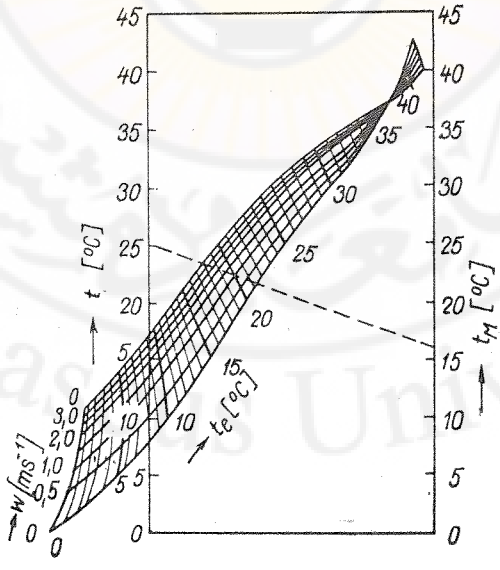
ان الراحة الحرارية للوسط المحيط بالانسان تتعلق كما رأينـــا بدرجة الحرارة الجافة ، ودرجة الحرارة الرطبة ، وسرعة جريان الهـــواء ، ودرجة الحرارة الاشعاعية للسطوح المجاورة٠ ولقد بذلت جهود كثيـــرة لقياس رمز واحد يحوى تأثير هذه الرموز مجتمعـــة ٠

من هذه الرموز درجة الحرارة المكافئة Equivalent Tem-perature والتي تأخذ بعين الاعتبار درجة الحرارة الجافة، درجـــة الحرارة الاشعاعية الوسطية للسطوح المجاورة، وسرعة جريان الهواء، ولا تأخذ بعين الاعتبار الرطوبة النسبية ٠ ان هذه الدرجة لم تستعمل كثيـــرا ولم تعط نفس الشعور خارج UK وخاصة في الولايات المتحدة الامريكية ٠ لذلك فقد ظهر رمز جديد في الولايات المتحدة يسمى درجة الحرارة الفعالة٠

Effective Temperature :

وهي د رجة حرارة الهواء الساكن المشبع ببخار المـــــــاء $\varphi = 100\ \%$ والتي تولّد لد ى الانسان نفس الشعور الحرارى الذ ى يولد ه الوسط ذ و د رجــة الحرارة الجافــة t والرطوبة النسبية φ وسرعـــــة الجريان $w\ m/s$.

لقد أجريت تجارب عد يد ة لتعيين د رجة الحرارة الفعالـــــة وطبقا لهذ ه التجارب فقد رسم المخطط التالي حيث رسم على المحـــــور الشاقولي د رجة حرارة الهواء الجافة td ود رجة الحرارة الرطبة tw ومنحنيات تساوى سرعة جريان الهواء $W = m/s$.



فمثلا عند ما تكون د رجة حرارة الهواء الجافة $t_d = 20\,c^\circ$ ود رجة الحرارة الرطبة $t_w = 20$ وعند ما تكون سرعة الهواء $W = 0\ m/s$ والرطوبة النسبية $100\ \%$ ، فان د رجة الحرارة الفعالة تساوى ايضا $t_E = 20\,c^\circ$.

وعند ما تكون د رجة حرارة الهواء الجافة $t_d = 22\,c^\circ$ ود رجة الحرارة الرطبة $t_w = 22\,c^\circ$ و وسرعة جريان الهواء $W = 1\ m/s$ فان د رجة الحرارة الفعالة $t_E = 20\,c^\circ$ وكذلك عند ما تكون د رجة حرارة الهواء الجافة $t_d = 25\,c^\circ$ ود رجة حرارة الهواء الرطبة $t_w = 15\,c^\circ$ اى الرطوبة النسبية $\varphi = 36,5\ \%$ وسرعة الجريان $W = 1\ m/s$ فان د رجة الحرارة الفعالة $t_E = 20\,c^\circ$

ان د رجة الحرارة الفعالة تجمع تأثير د رجة حرارة الهواء الجافة والرطبة وسرعة الجريان ، ولا تأخذ بعين الاعتبار د رجة الحرارة الاشعاعية للسطوح المجاورة. ان المخطط السابق د قيق عند ما تكون د رجة الحرارة الاشعاعية للسطوح المجاورة لا تختلف كثيرا عن د رجة حرارة الهواء الجافة .

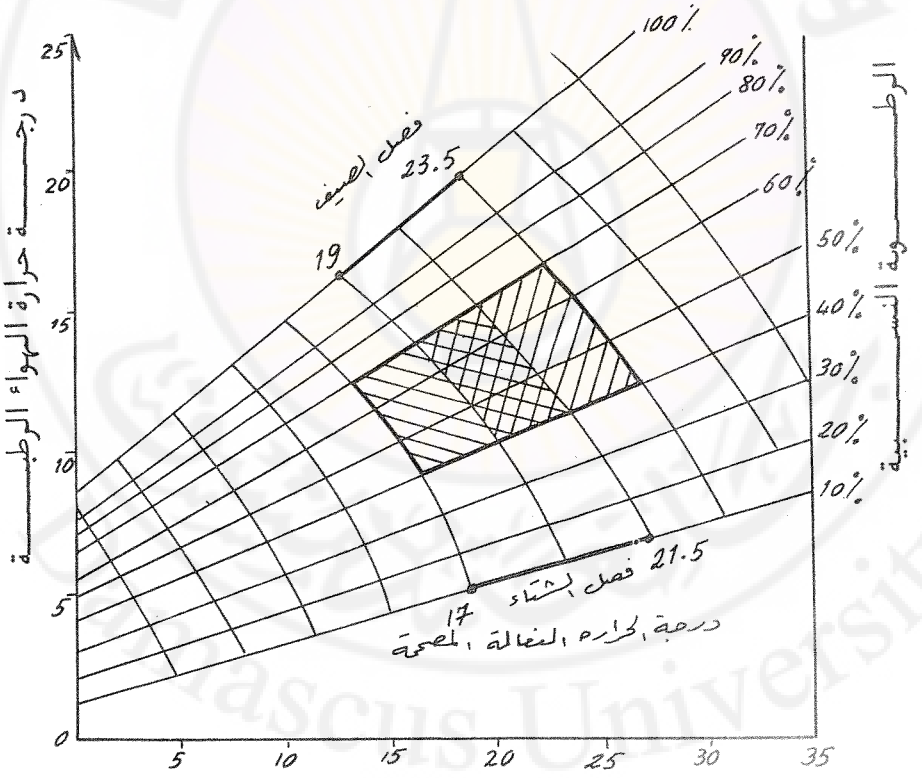
وفي حال وجود هذا الاختلاف فان Bedford و Fanger اقترحا تعويض د رجة حرارة الهواء الجافة بد رجة الحرارة التي تأخذ بعين الاعتبار د رجة حرارة الاسطح المجاورة والتي تقاس بمقياس Vernon واطلق على الرمز الذى يحدد الراحة د رجة الحرارة الفعالة المصححة Corrected Effective Temperature . ويختلف الشعور بالراحة طبقا لد رجة الحرارة الفعالة المصححة من بلد الى آخر كما يظهر من الجد ول التالي :

اسم الدولة	درجة الحرارة الفعالة في فصل الشتاء c°	درجة الحرارة الفعالة في فصل الصيف c°
المانيا	16,8÷20,6	18 ÷ 23
بريطانيا	14,5÷17,2	لغاية 21,7
الولايات المتحدة	17,1÷21,7	18,9÷23,9
ايران	-	لغاية 25,2
الهند (كالكوتا)	20 ÷ 24,9	20 ÷ 24,9

ان النقص في الحكم على راحة الانسان بدرجة الحرارة الفعالة المصححة هو انها لا تأخذ بعين الاعتبار التأثير السيء على راحة الانسان عند زيادة الرطوبة النسبية او نقصان الرطوبة النسبية عن حد معين حتى لو كان الانسان محافظا على التوازن الحرارى لجسمه .

لذلك فقد اقترح ان يكون مجال الراحة الحرارية طبقا لدرجة الحرارة الفعالة المصححة محددا برطوبة نسبية من 40% ولغاية 70% فقط.

وباعتبار انه لا يمكن رسم خطوط تساوى الرطوبة النسبية على المخطط السابق، لذلك فقد اقترح المخطط التالي :



درجة حرارة الهواء الجافة

في اوروبا يستعمل ايضا محصلة درجة الحرارة الجافة او الرطبة dry or wet resultant temperature حيث تعريف محصلة درجة الحرارة الجافة هو درجة الحرارة المقاسة بواسطة مقياس موجود بمركز كرة سوداء قطرها 100mm عندما تكون سرعة جريان الهواء 0,1 m/s .

كما أن Fagner يورد المعادلة التالية لدرجة حرارة سطح الجلد الوسطية التي يشعر عندها الانسان بالراحة :

$$t_k = 35,7 - 0,0275 \cdot \frac{Q}{S}$$

الاسس المناخية اللازمة

٤ لتصميم وحساب آلات التكييف

٤ ـ ١ اختيار درجة حرارة الهواء الجافة الخارجية (التصميمية)

اذا وضعنا انفسنا في اسوأ حالات تدفئة مبنى او اسوأ حالات تبريد مبنى فاننا عند اختيار درجة الحرارة الجافة الخارجية (التصميمية) في فصل الشتاء وفي فصل الصيف نميل الى اختيار اصغر درجة حرارة سجلت في منطقة المبنى او اعلى درجة حرارة سجلت فيه . لكن هذا الاختيار يقودنا الى استطاعات حرارية مبالغ فيها وبالتالي الى ارتفاع كلفة تأسيسات التدفئة والتكييف . ومن المنطقي القبول بدرجة حرارة خارجية تسمح بتأمين الراحة الحرارية خلال ايام البرد العادية وخلال ايام الحر العادية وهذا ما يؤدي الى خفض في كلفة تأسيس تجهيزات التدفئة والتكييف .

وهناك عدة طرق لتبني درجة الحرارة الخارجية التي يجب اعتمادها عند التصميم وهي طريقة IHVE وطريقة ASHRAE وتجمع هاتان الطريقتان على عدم اعتبار اعلى درجة حرارة او أخفض درجة حرارة مطلقة هي درجة التصميم الخارجية .

١ ـ طريقة IHVE :

تسجل درجة الحرارة العظمى المطلقة الشهرية خلال الشهور الاربعة : حزيران ، تموز ، آب ، ايلول ولعدة سنوات ثم يؤخذ متوسط

د رجات الحرارة العظمى المطلقة الشهرية ولكل شهر. حيث يتنج من هذه الطريقة متوسط د رجات الحرارة العظمى لكل من شهر جزيران ، تموز،آب ، ايلول وذلك لعدة سنوات . ثم يؤخذ اعلى متوسط لد رجات الحرارة على انه يمثل د رجة حرارة التصميم الخارجية .

وبالنسبة لمدينة د مشق فان د رجة الحرارة التصميمية الخارجية المعتبرة طبقا لهذه الطريقة هي $41\ C^o$ وخلال شهر آب ، وفي اعتقادي ان د رجة الحرارة هذه مرتفعة ومكلفة وغير اقتصادية ولا أنصح باستعمالها وبنفس الطريقة نجد د رجة حرارة التصميم الخارجية الشتوية خلال اشهر كانون اول ، كانون ثاني ، شباط ، آذار، وينتج من هذه الطريقة ان د رجة الحرارة التصميمية هي $-4\ C^o$.

ب ـ طريقة ASHRAE :

وتوجد لهذه الطريقة عدة اساليب وهي :

ـ اسلوب الـ 1% ، حيث تسجل د رجات الحرارة الخارجية خلال اشهر الصيف الاربعة وفي كل ساعة ، فيكون مجموع القراءات

$$(30 + 31 + 31 + 30) \cdot 24 = 2928$$

1% من هذه القراءات يساوى 30 قراءة تقريبا . نأخذ أعلى 30 قراءة لميزان الحرارة المسجلة لدينا ونحذفها فيبقى لدينا عدد من القراءات يساوى

$$2928 - 30 = 2898$$

نختار اعلى تسجيل لد رجة الحرارة من 2898 قراءة الباقية ولعدة سنوات فتكون د رجة الحرارة التصميمية الخارجية المعتمدة .

ويعطي ASHRAE لمدينة دمشق بهذا الاسلوب درجة حـــــــرارة 38,9 C° في فصل الصيف .

ـ اسلوب الـ 2,5 % وهو على نفس منوال الطريقة السابقة الاّ ان عدد الساعات المطروحة تعادل 74 ساعة تقريبـــاً . وتعطـــي لمدينة دمشـــق 37,8 C° .

ـ اسلوب الـ 5 % وهو على نفس المنوال السابق الاّ ان عـــدد الساعات المطروحة هو 147 ســـاعة . وتعطي هذه الطريقـــة لمدينـــة دمشق 36,7C° .

ان اختيار درجة الحرارة الخارجية تابع الى الناحية الاقتصادية والى الرفاهية التي نتوخاها للمشروع وكذلك لحالة البناء والمساحات الزجاجية وغيـــر ذلك .

٤ ـ ٢ ـ ١ اختيار الرطوبة النسبية او درجة الحرارة الرطبـــة الخارجيـــة (التصميميـــــة) :

ان الرطوبة النسبية للهواء تتعلق بدرجة حرارته ، ولهـــذا فان تغيراتها خلال ساعات النهار تابعة لتغيرات درجة الحرارة ، أمّـــا نسبة الرطوبة او الضغط الجزئي لبخار الماء فيمكن إعتبارهما ثابتين تقريبـــا خلال ساعات النهار ، علما بأن نسبة الرطوبة يمكن ان تزداد نتيجة المـــاء الذى تطلقـــه النباتات في الهواء .

فاذا فرضـــنا ثبوت نسبة الرطوبة في غالبية ساعات النهـــــار فان الرطوبة النسبية للهواء ستزداد عند انخفاض درجـــة الحرارة . وعنـــد

الوصول الى د رجة حرارة نقطة الند ى ستصبح الرطوبة النسبية 100% وأى انخفاض آخر في د رجة حرارة الهواء يسبب تشكل الند ى و بذلك تنخفض نسبة الرطوبة كما يحدث الساعة الرابعة صباحا • وعند طلوع الشمس ترتفع د رجة حرارة الهواء وتنقص الرطوبة النسبية للهواء مع ارتفاع د رجة الحرارة ويرافق ذلك تبخر نقاط الند ى مما يؤد ى الى ارتفاع نسبة الرطوبة ، وعند تبخر جميع نقاط الند ى تعود نسبة الرطوبة الى ما كانت عليه تقريبا ، وقد بيّنت سابقا تحوّلات وتغيرات الرطوبة النسبية مع تحول وتغير د رجة الحرارة اليومية • ويمكن التعبير عن رطوبة الهواء بد رجة الحرارة الجافة والرطبة ، او بد رجة الحرارة الجافة ونسبة الرطوبة ، او بد رجة الحرارة الجافة والضغط الجزئي لبخار الماء في الهواء او غيرها •

واذكر هنا ان نسبة الرطوبة والرطوبة النسبية تختلف من شهر الى آخر ومن مكان الى آخر حسب موقعه الجغرافي وحسب تضاريسه المحيطة به •

يتم اختيار د رجة حرارة الهواء الرطبة الخارجية بنفس اسلوب اختيار د رجات الحرارة الجافة •

ويعطي مرجع IHVE د رجة حرارة خارجية رطبة لمدينة د مشق في فصل الصيف $23\ C^o$ •

ويعطي مرجع ASHRAE طبقا لاسلوب 1% د رجة حرارة خارجية رطبة لمدينة د مشق $22,2C^o$ ، ولاسلوب 2,5% د رجة حرارة خارجية رطبة لمدينة د مشق $21,7\ C^o$ ، ولاسلوب 5% د رجة حرارة خارجية رطبة لمدينة د مشق $21,1\ C^o$ •

ويعود هذا الفرق الكبير بين درجات الحرارة الخارجية الجافة ودرجات الحرارة الخارجية الرطبة لمدينة دمشق الى انها تصنّف ضمن المناطق الصحراوية .

٤ ـ ٣ ـ ١ اختيار شروط التصميم الداخلية :

ان اختيار الشروط الداخلية التصميمية للوصول الى الراحة الحرارية بواسطة اجهزة تكييف الهواء يتعلق كما رأينا سابقا بعوامل كثيرة ومتعددة ، كما انه يتعلق ايضا بالناحية الاقتصادية .

على المصمم عند اختيار الشروط الداخلية التصميمية ان يضع بعين الاعتبار الملاحظات التالية :

١ ـ الشروط الخارجية التصميمية

٢ ـ مدة الاقامة في المكان المكيّف

٣ ـ معدل العمل والجهد الذى يقوم به الاشخاص في المكان المكيف .

عند ما يدخل الانسان الى مكان مكيف (مبرّد) صيفا فانه يشعر عند دخوله بالراحة الحرارية ، وان هذا الشعور يمكن ان يستمر اذا كانت درجة الحرارة الفعالة داخل الغرفة في مجال الراحة الحرارية بالنسبة لمعدل العمل الذى يقوم به الشخص علما بأن الشعور بالراحة بالنسبة الى t_E يختلف من بلد الى آخر حسب العادة .

فمثلا في بريطانيا وعند درجة حرارة جافة C^o 22,5 ورطوبة نسبية 50% (حيث تكون درجة الحرارة الفعالة C^o 20) هي مناسبة ومريحة لاكثر الناس . بينما من اجل الناس الذين يعيشون في بلاد حارّة

حيث د رجة الحرارة الخارجية الجافة حوالي 35 C^{o} ود رجة الحرارة الرطبة 26,5 C^{o} فان د رجة حرارة جافة د اخلية 25,5 ورطوبة نسبية 50% مناسبة ومريحة ومقبولة لهم .

وعادة مانختار د رجة الحرارة الجافة التصميمية الد اخلية اقل بـ 4 ÷ 5 ÷ 11 C^{o} او اكثر من د رجة الحرارة التصميمية الخارجية الجافة . وان رطوبة نسبية قد رها 50% ÷ 40 مقبولة ومناسبة الى أشخاص يقومون بعمل في حالة الجلوس .

ان الانسان يمكن ان يلاحظ تغير د رجات الحرارة (عند الشروط الطبيعية) اكثر من ملاحظته عند تغير الرطوبة . وهذا يعني انه يمكن التسامح بتغير نسبة الرطوبة بمجال اكبر بكثير من التسامح بتغير د رجة الحرارة . ولهذا تأثير كبير عند اختيار اجهزة التحكم والمراقبة الآلية .

هناك من يتكلم عن الرعشة shock عند د خول شخص من جو حار الى جو بارد . ان هذا التغيير لا يسبب أى ضرر الى جسم الانسان عند ما يكون الفرق بين د رجة حرارة الهواء الخارجية والد اخلية يحقق بالعلاقة التالية وبالنسبة الى شخص صحيح الجسم :

$$t_o - t_i \leqq \frac{t_o - 20}{2}$$

وذلك لأن جسم الانسان يتأقلم مع انخفاض د رجة الحرارة بسرعة . هذا ويمكننا تلخيص العوامل التي توثر على اختيار الشروط الد اخلية بما يلي :

١ ـ يجب ان تكون د رجة حرارة الهواء مناسبة وموافقة وتقع في مجال د رجات الحرارة الفعالة المصححة 19÷23,5 وكلما اقتربت

من $19\ C^{o}$ يشعر حوالي 90% من الناس بالراحة وذلك في فصل الصيف . اما في فصل الشتاء فان درجة الحرارة الفعالة المصححة تقع بين $21-17\ ,5C^{o}$.

٢ — سرعة الهواء الوسطية في الغرفة يجب ان تكون بحدود تتعلق بدرجة الحرارة الجافة وطبقا للجدول التالي :

فصل الشتاء

درجة الحرارة الجافة	19	20	21
سرعة الهواء في الغرفة m/s	0,1-0,13	0,1-0,15	0,15-0,2

فصل الصيف

درجة الحرارة الجافة	22	23	24
سرعة الهواء في الغرفة m/s	0,2-0,24	0,25-0,3	0,3-0,35

٣ — يجب ان تكون الرطوبة النسبية بين 60% - 30 ولا تزيد عن 70% حيث ان الانسان يزداد شعوره بالرائحة عند زيادة الرطوبة النسبية عن 60% .

٤ — يجب ان تكون درجة الحرارة الاشعاعية الوسطية للسطوح المجاورة مرتفعة في فصل الشتاء حيث ان الجدران الباردة في غرفة مدفأة تؤدي الى الضيق وعدم الشعور بالراحة . بينما في فصل الصيف فيفضل ان تكون درجة الحرارة الاشعاعية الوسطية للسطوح المجاورة منخفضة اكثر منها مرتفعة .

٥ ـ يجب ان يكون الفرق بين درجة الحرارة عند رأس الانسان وعند قدميه اقل ما يمكن وألاّ يزيد عن $1,5^{\circ}C$ وليس اكثر من $3^{\circ}C$ أبدا .

٦ ـ يفضل عدم تأثير الاشعاع الحرارى مباشرة على الرأس .

٧ ـ نسبة تركيز CO_2 في المكان المكيف يجب الا تزيد عن % 0,1 علما بأن هذه النسبة لا تسبب أى ألم ولكن عند زيادتها لغاية % 0,2 فان مدة الشهيق تزداد بمقدار % 30 وسرعة التنفس تزداد بمقدار 15% .

ولا بد لنا في النهاية من اخذ الناحية الاقتصادية بعين الاعتبار بالدرجة الاولى وخاصة في الوقت الحاضر لأن اختيار درجات حرارة منخفضة في فصل الصيف ومرتفعة في فصل الشتاء يؤدى الى زيادة كبيرة في كلفة التجهيزات واسعار الوقود . كما يجب الأخذ بعين الاعتبار المدة التي يبقى فيها الشخص في المكان المكيف ، فمثلا عند ما يمكث الشخص مدة طويلة يجب ان تكون درجة الحرارة منخفضة في فصل الصيف ، $22^{\circ}C$ مثلا ، وعند البقاء مدة قصيرة يمكن السماح بدرجة حرارة اعلى ولغاية $26^{\circ}C$.

٥ المواصفات الحرارية للأبنية

ان اجهزة التكييف والبناء الذى تكيّفه تؤلف وحدة متكاملة ، كما ان زيادة استطاعة آلات التكييف لبناء معين يمكن القيام به بدون أية صعوبة . اما التصميم الهندسي والفني الصحيح فيجب ان يأخذ بعين الاعتبار وبالدرجة الاولى الناحية الاقتصادية حيث يجب ان تكون الكلفة الكلية للبناء والاجهزة المستعملة للتكييف أقل ما يمكن .

لذلك فانه من الاهمية بمكان صناعة الابنية من مواد للبناء تكون مناسبة من الناحية الحرارية، خاصة في هذا الوقت الذى يزداد فيه الطلب للحفاظ على مواد انتاج الطاقة الحرارية والتي من الممكن استغلالها للأغراض الصناعية المختلفة .

ان العوامل الاساسية التي تؤثر في مواد البناء الحرارية هي :

١ ـ مواصفات مواد البناء الحرارية
٢ ـ توجيه البناء وشكله الهندسي
٣ ـ تظليل البناء الطبيعي والصناعي
٤ ـ نوع ومقاييس النوافذ
٥ ـ نوع سطح البناء الخارجي ... وغيرها من العوامل

سنبحث في بعض هذه العوامل بالتفصيل والعوامل الاخرى في الفصول القادمة .

٥ ـ ١ مواصفات مواد البناء الحرارية :

T ـ المقاومة الحرارية لمواد البناء : والتي تعطى بالعلاقة $R=\frac{e}{\lambda}$ حيث λ عامل التوصيل الحرارى للبناء بـ $W/m.^{\circ}K$. وتعلق قيمة هذا العامل بنوع مواد البناء ، وبالكتلة الحجمية له Kg/m^3 ، ونوع الفراغات داخله ، وشكل وابعاد البحص والرمل المصنوع منه ، ودرجة حرارته ورطوبته وغيرها . ان قيم عامل التوصيل الحرارى النظرى الذى نجده في الجداول يمكن ان يختلف عن قيم عامل التوصيل الحرارى الحقيقي بشكل كبير ، وذلك نتيجة عوامل كثيرة اهمها رطوبة البناء والفراغات الهوائية الموجودة داخله .

ان عامل التوصيل الحرارى النظرى يمكن ايجاده من الجداول الخاصة بذلك حيث يزداد هذا العامل مع زيادة الرطوبة نتيجة رطوبة الهواء ، او نتيجة الامطار ، ذلك لأن عامل التوصيل الحرارى للماء هو اكبر من عامل التوصيل الحرارى لمواد البناء .

ان الجدول التالي يبين الزيادة النوعية لعامل التوصيل الحرارى مع زيادة الرطوبة الحجمية طبقا الى تجارب CAMMERER .

الرطوبة الحجمية ٪	1	2,5	5	10	15	20	25
نسبة عامل التوصيل الحرارى $\frac{\lambda \text{ رطب}}{\lambda \text{ جاف}}$	1,32	1,55	1,76	2,08	2,28	2,44	2,55

ان الرطوبة الحجمية للبناء تكون اكبر ما يمكن عند الانتهاء من البناء وتنقص بالتدريج حتى الوصول الى قيمة معينة ، كما انها ليست

ثابتة طوال فصول السنة وتتعلق بالعوامل الجويـــة الخارجية ٠

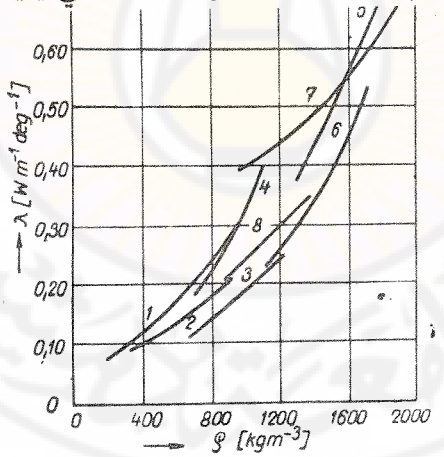
كما ان عامل التوصيل الحرارى لمواد البناء يتعلق بدرجـــة الحرارة حيث يزداد بزيادتها وطبقا للمعادلة التقريبية التالية :

$$\lambda = \lambda_0 (1 + 0,0025\, t)$$

λ_0 عامل التوصيل الحرارى عنـد الدرجة 0

t درجة الحرارة C°

كما ان عامل التوصيل الحرارى لمواد البناء يتعلق بالكتلـــة الحجمية $\rho kg/m^3$ لهذه المواد ٠ والشكل التالي يبين ذلـــك ٠



ب ــ الحرارة النوعية لمواد البناء C : ان قيم الحرارة النوعيـــة لأكثر مواد البناء تتراوح بين $0,65 \div 2$ $KJ/Kg.C^\circ$ وتحدد فقـــط بالقياس وتوجد في الجداول الخاصة بذلك ٠ وأورد فيما يلي الحرارة النوعية لبعض مواد البنـــاء :

نوع المـــــادة	الحرارة النوعية (KJ/Kg°C)
بيتـــــون	0,84
خشـــــب	2,51
فيبركـــــلاس	0,81

جـ ـ عامل الانتقال الحرارى : $\alpha = \frac{\lambda}{\rho . c}$

يستعمل هذا للعامل المركب عند حسابات انتقال الحـــرارة المتغيرة مع الزمن ، فعند ما تكون قيمة هذا العامل كبيرة فان سرعة التغيرات الحرارية على السطح الداخلي للبناء تكون سريعة جدا ايضا . لهذا فانـــه للدفاع عن التغيرات الحرارية السريعة على السطوح الداخلية للجدران عنـد التغيرات الحرارية الفجائية على السطح الخارجي له يجب استعمال مـــواد للبناء بعامل انتقال حرارى صغير، علما بأنه بزيادة الحرارة النوعية للبنـــاء وبزيادة الكتلة الحجمية له ينقص هذا العامل .

د ـ عامل الامتصاص الحرارى لمواد البنـاء : يعطى بالعلاقـــــة التاليـــــة :

$$S = \sqrt{\frac{2\pi}{\tau_0} \cdot \lambda \cdot \rho . c} \doteq 0,00853 \sqrt{\lambda . \rho . c}$$

حيث τ_0 زمن دورة واحدة وتساوى 24 h اى 86400

2π تساوى الى $2 . 3,14 = 6,28318$

ان هذا العامل يرمز الى المطال الحرارى الذى يحدث علـــى السطح الداخلي للبناء عند تغير المطال الحرارى على السطح الخارجي لـــه

بمقدار $1°C$ ، او بتعبير آخر فان هذا العامل يعبر عن امكانية المادة اعطاء او أخذ كمية من الحرارة عند تغير درجة حرارة السطح الآخر بشكل دوري .

هـ ـ الكثافة الحرارية للجدار : تعطى بالعلاقة :

$$D = R \cdot S$$

كما ان الكثافة الحرارية لجدار مؤلف من عدة طبقات تساوى الى مجموع الكثافة الحرارية لهذه الطبقات ، اى :

$$D = R_1 \cdot S_1 + R_2 \cdot S_2 + \cdots + R_n \cdot S_n$$

ونعتبر أن الجدار خفيف من الناحية الحرارية عند ما تكون $D < 1,5$

" " " وسط " " " " " $1,5 < D < 15$

" " " ثقيل " " " " " $D > 15$

و ـ السعة الحرارية لمواد البناء : وتعطى بالعلاقة :

$$C = e \cdot \rho \cdot c \qquad J/m^2 \cdot C^\circ$$

حيث e سماكة الجدار بـ m

ρ الكتلة النوعية Kg/m^3

c الحرارة النوعية $J/Kg.^\circ K$

ز ـ عامل التصغير (او التناقص) لدرجة الحرارة على السطح الداخلي للجدار :

ان تغير درجة حرارة الهواء الخارجية يمكن تمثيلها بالمعادلة

التاليـــــة كما رأينـــا

$$t = A \sin\left(\frac{360 \cdot \tau}{\tau_0} + \varphi\right)$$

ان تعريف عامل التصغير لدرجة الحرارة يمكن التعبيـــر عنـــه رياضيـــا بالنسبة التاليـــــة :

$$\mu = \frac{m_1}{m_2}$$

كما هو واضح من الشكل وهو يعطينا فكرة عن عدد مرّات نقص مطال درجـــة الحرارة على السطح الداخلي للجدار عن مطال درجة الحرارة على الســـطح الخارجي لـــه

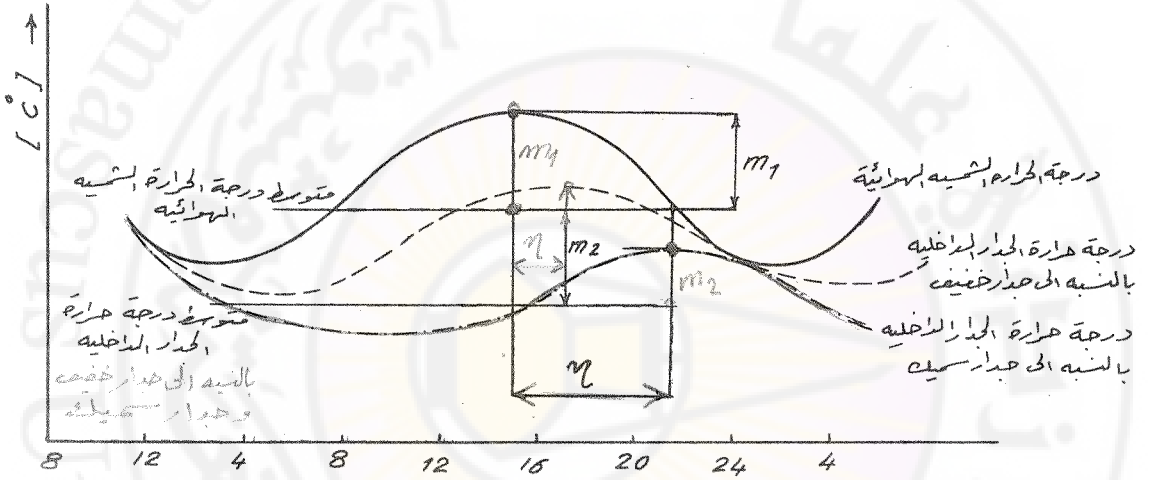
حيث m_1 هو مطال تغير درجة الحرارة الهوائية الشمسية عن درجـــــة الحرارة الهوائية الشمسية الوسطية خلال $24\,h$.

m_2 هو مطال تغير درجة الحرارة للسطح الداخلي للجدار عـــن الدرجة الوسطية لـــه خلال $24\,h$.

ويمكن حسابه بشكـــل تقريبـــــي مـــــن المعـــادلة التاليـــــــة :

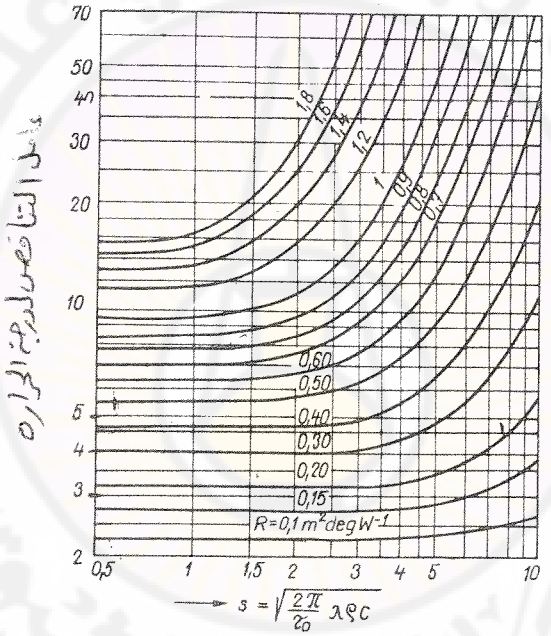
$$\mu = 0{,}5\, e^{\frac{R \cdot S}{12}} \sqrt{\left(1 + \frac{\alpha_i \sqrt{2}}{S} + \frac{\alpha_i^2}{S^2}\right)\left(1 + \frac{S\sqrt{2}}{\alpha_0} + \frac{S}{\alpha_0^2}\right)}$$

Damascus University



عامل التصغير = $\frac{m_2}{m_1}$ = μ عامل التأخر الزمني ... η . تحول درجة الحرارة على السطح الداخلي للجدار عند تحول درجة الحرارة الشمسية الهوائية الخارجية طبقا الى منحنى جيبي .

هذا ويمكن الرجوع الى المخططات لتعيين عامل التصغيـــــر وحسب المخطط التالي :



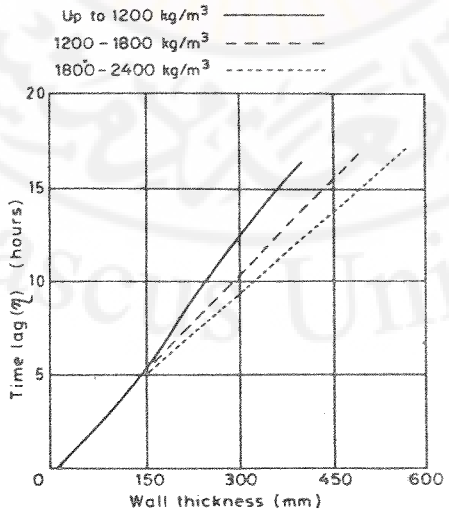
ح ـ عامل التأخر الزمني بالســاعات η Time Lag :

اذا كان لدينا جدار سماكته ℓ وسخنت الجهة الاولـــى من هذا الجدار بحيث ان درجة حرارة هذه الجهة ارتفعت بشكل جيبـــي كما يحصل عادة عند تغير درجة الحرارة اليومية الخارجية، فان الزمـــن بين النهاية العظمى لدرجة الحرارة على الجهة الاولى والنهاية العظمى لدرجـة

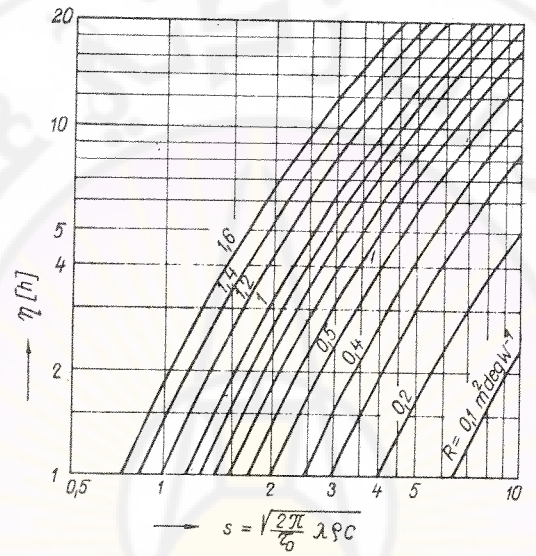
الحرارة على الجهة الثانية نسميها عامل التأخر الزمني وغالبا ما يكون هذا التأخر بين 6-4-3 ساعات او أكثر ، لأن ذلك تابع الى مواصفات الجدار الحرارية وتابع لسماكة هذا الجدار . فان كان الجدار سميكا جدا بحيث يقاوم وصول الحرارة الى داخل البناء فان الحرارة تعكس اتجاهها وتنتقل الى خارج البناء مرة ثانية وذلك اثناء الليل حيث تكون درجة الحرارة الخارجية أقل من درجة الحرارة الداخلية .

ان تأثير عامل التأخر الزمني يؤدي الى ارتفاع درجة الحرارة في الغرفة المقاسة بمقياس Vernon حتى بعد غروب الشمس عن درجة الحرارة الخارجية وان كثيرا من الناس يشعرون بعدم الراحة في غرف النوم حتى بعد الساعة الثانية صباحا . والشكل التالي يبين قيمة عامل التأخر الزمني . ويمكن حساب عامل التأخر الزمني من العلاقة التالية :

$$\varphi = 57,3 \frac{R \cdot S}{\sqrt{2}} - arctg \frac{\alpha_i}{\alpha_i + S\sqrt{2}} + arctg \frac{S}{S + \alpha_0 \sqrt{2}}$$



او مـــن الشـــكل

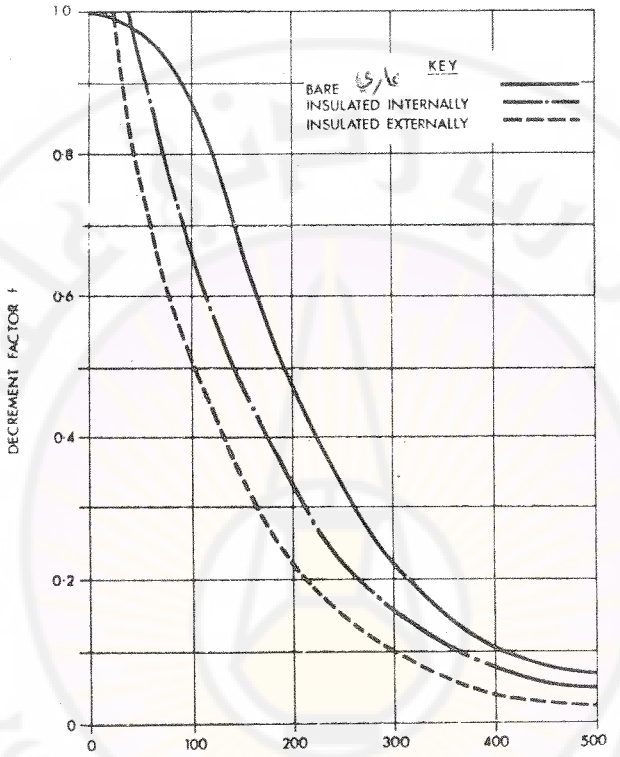


ط ـ عامل التناقص لكميـــة الحرارة (f) decrement factor :

ان عامل التناقص لكميـــة الحرارة هو النسبـــة بيـــن مطال كمية الحرارة التـــي تنفذ من السطح الداخلـــي للجدار ومطـــال كميـــة الحرارة التـــي تخترق الســـطح الخارجـــي للجـــدار بعـد التأخـــر الزمنـــي وتعطـــى بالعلاقـــة التقريبية التاليـــة

$$f \doteq \frac{\alpha_i}{u \cdot w}$$

ويمكـــن ايجـــاده بشـــكل ســـريع من المخطط التالـــي بدلالـــة سماكـــة الجـــدار .



مسألة : جدار سماكته $\ell = 30\ cm$ وكتلته الحجمية (النوعية) $\rho = 1350\ kg/m^3$ ، عامل التوصيل الحراري له $\lambda = 0,64\ W/m\,K$ ، الحرارة النوعية $C = 940\ J/kg.K$.

احسب عامل الامتصاص الحراري S ، والمقاومة الحرارية R ، والكثافة الحرارية D ، وعامل التصغير لدرجة الحرارة μ ، وعامل التأخر الزمني η .

الحل :

$$S = \sqrt{\frac{2\pi}{T_0} \cdot \lambda \cdot \rho \cdot C} = \sqrt{\frac{2\pi}{24 \cdot 3600} \cdot 0,64 \cdot 1350 \cdot 940}$$

$$S = 7,61 \quad W/m^2.K$$

$$R = \frac{e}{\lambda} = \frac{0,30}{0,64} = 0,47 \quad m^2K/W$$

$$D = R.S = 0,47 \cdot 7,61 = 3,58$$

$$\mu = 0,5\, e^{\frac{R.S}{\sqrt{2}}} \sqrt{\left(1+\frac{\alpha_i\sqrt{2}}{S}+\frac{\alpha_i^2}{S^2}\right)\left(1+\frac{S\sqrt{2}}{\alpha_0}+\frac{S^2}{\alpha_0^2}\right)}$$

$$= 0,5\, e^{\frac{3,58}{\sqrt{2}}} \sqrt{\left(1+\frac{8\sqrt{2}}{7,61}+\frac{8^2}{(7,61)^2}\right)\left(1+\frac{7,61\sqrt{2}}{17}+\frac{(7,61)^2}{(17)^2}\right)}$$

$$= 11,8$$

$$\eta\psi = 57,3\,\frac{R.S}{\sqrt{2}} - \text{arctg}\,\frac{\alpha_i}{\alpha_i+S\sqrt{2}} + \text{arctg}\,\frac{S}{S+\alpha_0\sqrt{2}}$$

$$= 57,3\,\frac{3,58}{\sqrt{2}} - \text{arctg}\,\frac{8}{8+3,58\sqrt{2}} + \text{arctg}\,\frac{7,61}{7,61+17\sqrt{2}}$$

$$= \frac{24}{360} = 8 \text{ hour}$$

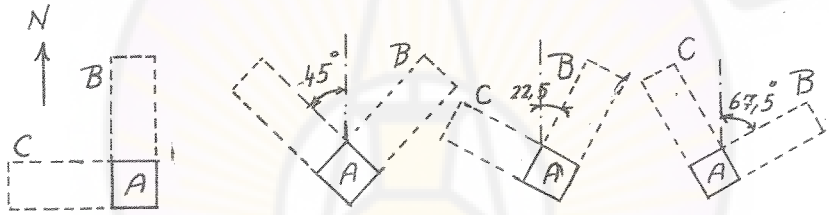
$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_0}+\frac{L}{\lambda}+\frac{1}{\alpha_i}} = \frac{1}{\frac{1}{17}+\frac{0,3}{0,64}+\frac{1}{8}} = \text{عامل النفوذ الحرارى}$$

$$= 1,54 \quad W/m^2K$$

٥ ـ ٢ توجيه البنـاء وشكله الهندسـي Orientation :

ان معرفة الربح الحرارى الشمسي للبناء الموجّه بجهـات مختلفـة various facade يمكن ان يساعد على اختيار توجيهة البناء وشكلـه الهندسي ووضع مكان النوفذ فيـه وذلك في فصل الصيف وفي فصل الشتاء .

هذا ويمكن بشكل عام تصنيف اتجاه البناء الى اربعة طرق كما هـو موضّـح في الشكل :



كماانه يمكن ايضا بشكل عام تصنيف مقاييس البناء حسـب الشـكل التالـي :



النموذج A النموذج B النموذج مزدوج B

النموذج مزدوج C النموذج C

المقاييس النسبية للجدران والارض

ان الجدول التالي والذى يبين الربح الحرارى لأنواع البنـاء المذكورة سابقا بتاريخ ٢١ كانون ثاني وعند خط عرض 40N° وذلك باستعمال

القيم المذكورة في ASHRAE بالنسبة الى SHGF بمقيـــــــــاس

KJ / day /uinitaria .

Facade توجيـــه الواجهـــة		1	2	3	4	المجمـــوع
N	A	124,5	529,6	1719,6	536	2916
	B	88,6	761,7	1223,6	761,7	2814,7
	C	177,2	380,8	2447,6	380,8	3386,5
مزدوج	B	124,5	1071,8	1719,6	1071,8	3987,9
مزدوج	C	249	536	3439,3	536	4865,5
N	A	129,7	873,5	1572	279,5	2538,7
	B	97,7	1245	1118,3	396,6	2851,6
	C	183,5	622,4	2236,9	198,3	3241
مزدوج	B	129,7	1747	1572	559	4008
مزدوج	C	259,5	873,5	3144	279,5	4556,5

(تابـــع الجدول الســـابق)

A	134	1238,5	1238,5	134	2745
B	95	176,8	881	190	2927,6
C	190	881	1761,8	95	2927,6
	134	2477	1238,5	268	4117,6
	134	2477	1238,5	268	4117,6
	279,5	1572	873,5	129,7	2538
	198	2236,6	622,4	183,5	3241
	396,6	1118,3	1245	91,7	2851,6
	279,5	3144	873,5	259,5	4556,5
	559	1572	1747	129,7	4008

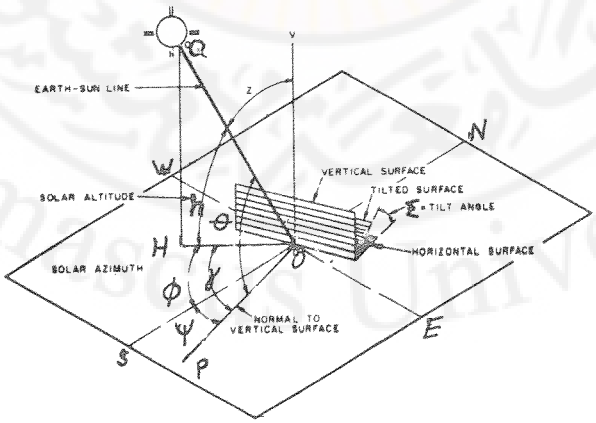
ان الجدول السابق لم يأخذ بعين الاعتبار الانواع المختلفة لألوان الجدران والاشعاع الشمسي على السطح والاوضاع المختلفة للنوافذ ومكانها ومقاييسها حيث ان هذه العوامل تؤثر بشكل كبير على الربح الحرارى للبناء ٠

٦ الاشعاع الشمسي المباشر وغير المباشر والاشعاع الشمسي الكلي وتأثير العوامل المختلفة على قيمهما

٦ ـ ١ تعاريف أساسية في علم الفلك :

هناك بعض التعاريف الاساسية في علم الفلك تستعمل للتعبير عن شدة الاشعاع الشمسي المباشر وهي :

آ ـ ارتفاع الشمس $h°$: وهي الزاوية (QOH) التي يشكلها الشعاع الشمسي مع مسقطه على الافق في مكان ما على سطح الارض .



Solar Angles for Vertical and Horizontal Surfaces

ب ـ سمت الشمس ϕ : وهي الزاوية SOH التي يشكلها المسقط الافقي للشعاع الشمسي وبين خط الجنوب مقاسة من هذا الخط .

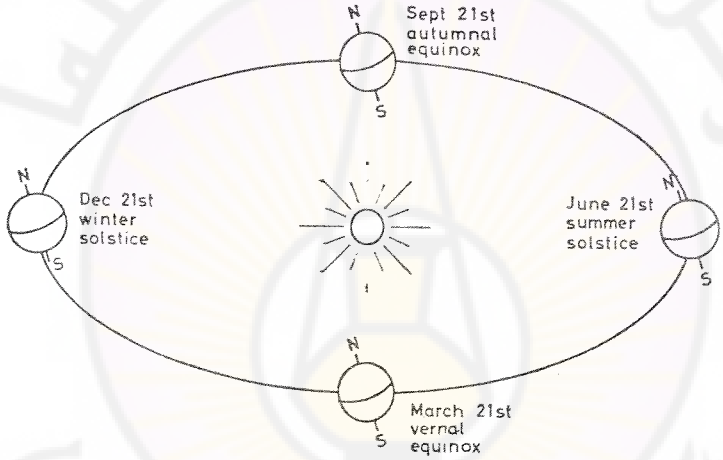
جـ ـ زاوية سمت الجدار الشمسية γ : وهي الزاوية POH التي يشكلها المسقط الافقي للشعاع الشمسي (على سطح افقي) والمسقط الافقي للعمود على هذا الجدار .

د ـ زاوية سمت الجدار ψ : وهي الزاوية POS التي يشكلها المسقط الافقي للعمود على الجدار وبين خط اتجاه الجنوب .

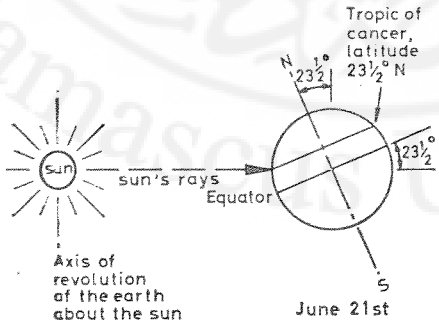
هـ ـ ميل الارض δ : وهي الزاوية التي تشكلها اشعة الشمس مع مسقطها (مسقط هذه الاشعة) على المستوى المار من خط الاستواء وقت الظهيرة، وقيمتها خلال اشهر السنة تتراوح بين $+ 23^\circ 27'$ عند الانقلاب الصيفي وبين $- 23^\circ 27'$ عند الانقلاب الشتوي وحسب الجدول التالي :

التاريخ	ميل الارض
22.12	$- 23^\circ 27'$
27.1 , 22.11	$- 20^\circ$
19.2 , 24.10	$- 11^\circ 30'$
21.3 , 23.9	0°
21.4 , 24.8	$+ 11^\circ 30'$
22.5 , 23.7	$+ 20^\circ$
22.6	$+ 23^\circ 27'$

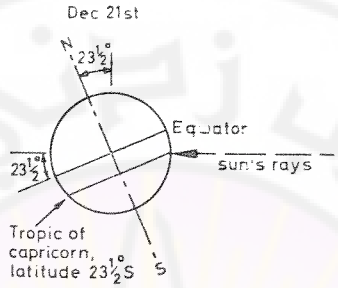
ويبين الشـــكل التالـــي مد ار الارض حول الشمس ويوضـــح ان محور الارض لا يغير اتجاهـــه خلال د وران الارض حول الشمس ، كمـــا يبين قيمـة ميـــل الارض كـ في الانقلاب الشتوى والانقلاب الصيفي .



Note that the sun is so far from the earth that all the rays of the sun may be considered as parallel to one another when they reach the earth.

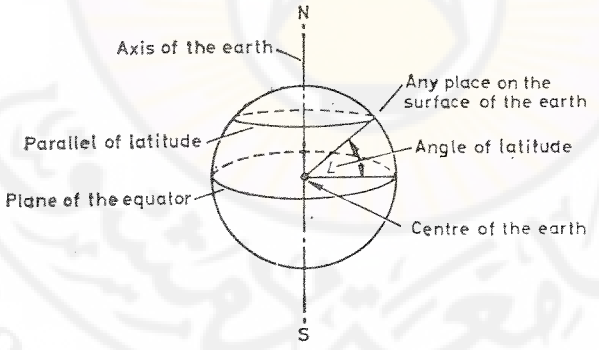


22 June حـــــزيران



22 Dec. كانون اول

و ـ زاوية خط العرض L : وهي الزاوية التي يشكلها الخط الواصل بين مكان ما على سطح الكرة الارضية ومركز الارض مع المستوى المار من خط الاستواء ٠



ز ـ زاوية الطول : وهي الزاوية التي يشكلها المستوى الذى يمر من مكان ما على سطح الكرة الارضية ومن القطبين الشمالي والجنوبي وبين المستوى المار من مدينة غرينتش ومن القطبين ايضاوتقاس من 0° الى 180° شرقا او غربا من مدينة غرينتش ٠

ح ـ الزمن الشمسي T : ويقاس بالساعة قبل او بعد الظهر حيث يعرف الظهر بأنه الوقت الذى تكون فيه الشمس (زاوية ارتفاع الشمس)

اعلى ما يمكن خلال اليوم المعتبـــــر .

ط ـ الزاويـــة الساعية H° : وهي عبارة عن الانتقال الـــــزاوى للشمس عن وضع الظهر ، وبما ان الارض تدور 360° خلال 24 ساعة فان الساعة الزاوية تســاوى 15° .

ومن التعاريف السابقة يمكننـــا حساب قيمة ارتفاع الشمس h وسمت الشمس ϕ مقاسة من الجنوب في اى تاريخ وفي اى زمن مـــــــن المعادلتيـــــن :

$$\sin h = \cos L \cos \delta \cos H + \sin L \sin \delta$$

$$\sin \phi = \frac{\cos \delta . \sin H}{\cos h}$$

ان قيم h و ϕ يمكننا ايضا ان نجدها مباشرة من الجداول الخاصـــة بذلك .

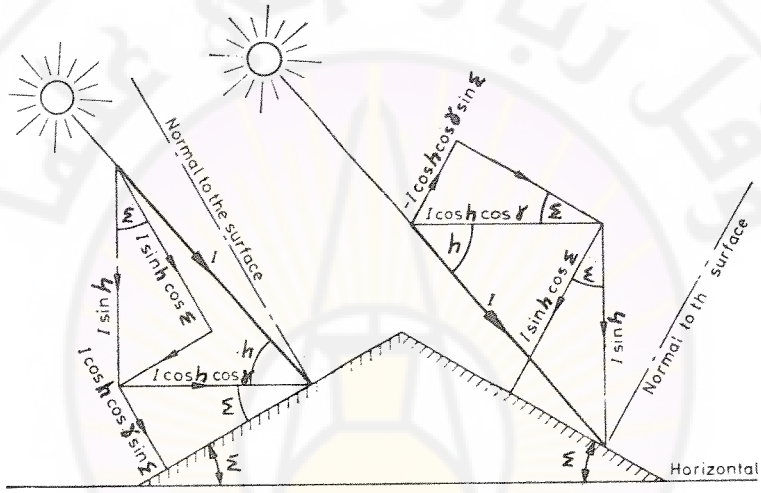
ى ـ زاوية السقوط θ لأى سطح : وهي الزاوية بين الاشعة الشمسية التي تصل الى المكان المراد معرفة زاوية سقوطه وبين المستقيم العمودى على هذا السطح . فعندما يكون السطح افقيا فان زاوية السقوط هي QOV وعندما يكون السطح شاقوليا تكون زاويـــــــة الســـــقوط هي QOP وعندما يكون السطح مائلا عن الافق بمقدار زاوية Σ فان زاويـــة الســـقوط تعطى بالعلاقـــــــة :

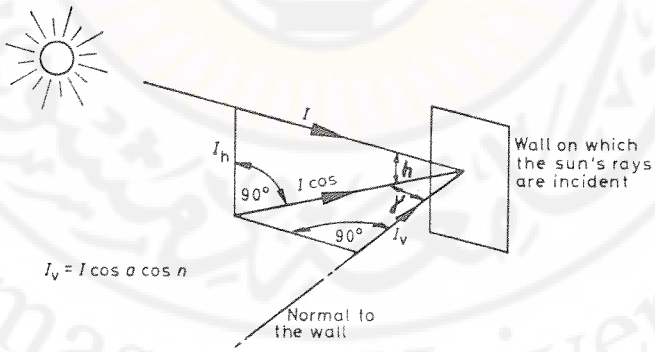
$$\cos \theta = \cos h \cos \gamma \sin \Sigma + \sin h \cos \Sigma$$

من المعادلة السابقة وعندما يكون السطح افقيا فان $\Sigma = \theta$ وتكـــــون

$\cos\theta = \sin h$ ∘ وعند ما يكون السطح شاقوليـــــــا فان

$\cos\theta = \cosh.\cos\gamma$ وتكون $\angle = 90°$ ∘ والشكل التالي يبين ذلك





$I_v = I \cos a \cos n$

مثـــــال : احسب سمت الشمس وارتفاع الشمس عند الساعة 8,25 قبل الظهر عند خط عرض 32° بتاريخ 21 تشرين اول شمال خط الاستواء ∘

$$\sin h = \cos 32 \cos(-10,5) \cos 53,8 + \sin 32 \sin(-10,5)$$

$$= 0,396$$

$$h^\circ = 23,3^\circ$$

$$\sin \phi = \frac{\cos(-10,5) \sin(53,8)}{\cos 23,3} = 0,865$$

$$\phi = 60^\circ$$

حيث ان الساعة الشمسية 8,25 بالدقائق تساوى الى 215 دقيقة قبل الظهر وبالساعات تساوى الى $\frac{215}{60}$ ساعة وبالدرجات تساوى الى

$$H = \frac{215}{60} \cdot 15 = 53,8^\circ$$

مثال 2 : من اجل المثال السابق اوجد زاوية السقوط على نافذة متجهة نحو جنوب شرق.

ان زاوية سمت السطح ψ من الجدول هي 45°

الاتجاه	شمال N	ش ش NE	ش E	ج ش SE	ج S	جغ SW	غ W	شغ NW
زاوية سمت الجدار بالدرجة العمود على الافق	180	135	90	45	0	45	90	135

$$\gamma = 60 - 45 = 15^\circ$$

$$\cos \theta_v = \cos 23,3 \cos 15 = 0,887$$

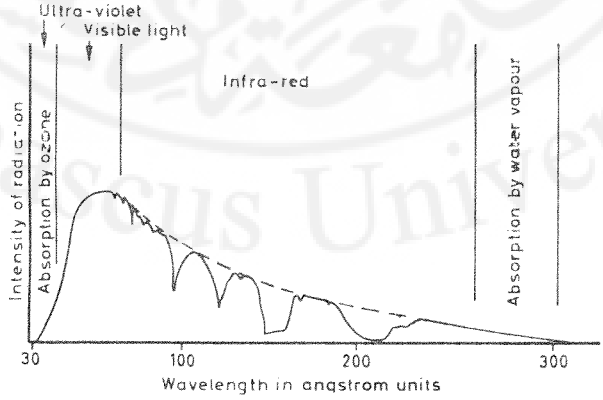
$$\theta_v = 27,3 \text{ deg}$$

لايجاد زاوية سمت الجدار الشمسية من اجل الاتجاهات المختلفة

غرب او شمال	شرق او جنوب
$\gamma = \phi + \psi$ (A.M.)	$\gamma = \phi - \psi$ (A.M.)
$\gamma = \phi - \psi$ (P.M.)	$\gamma = \phi + \psi$ (P.M.)

٦ ـ ٢ شدة الاشعاع الشمسي المباشر وغير المباشر وتأثير تعكّر الجو على قيمتهما :

ان الشمس هي المصدر الوحيد للطاقة الذى يجعل الحياة ممكنة على هذه الارض وان درجة حرارة سطحها تبلغ حوالي $6000\ C^{\circ}$ حيث ترسل حرارتها بالاشعاع الى الارض في مجال من الموجات الحرارية يبلغ طولها $0,29 \div 4,75$ micron . هذا ويمكن اعتبار الشمس جسما تام السواد يتبادل الحرارة بالاشعاع مع الارض . ويبين الشكل التالي مجال اطوال الموجات للاشعة الشمسية التي تصل الى الارض . ويظهر ان القسم الاكبر من الطاقة الشمسية مركّز في الاشعة المرئية وفي الاشعة تحت الحمراء . ان الخط المنكسر يبين القدرة الشمسية التي تصل الى الارض والخط المنساب القدرة التي تصل الى الغلاف الجوى .



والجدول التالي يبين تسميات موجات الاشعة الشمسية حسب طول هذه الموجات :

نوع الموجة	طول الموجة $\lambda[m]$
الاشعاع الكوني	$< 0,05.10^{-12}$
اشعاع كما	$0,5.10^{-12} \div 10.10^{-12}$
اشعاع رونتجن	$1.10^{-12} \div 20.10^{-9}$
اشعاع تحت البنفسجية	$20.10^{-9} \div 0.4.10^{-6}$
الاشعاعات المرئية	$0,4.10^{-6} \div 0,8.10^{-6}$
الاشعاعات الحرارية	$0,8.10^{-6} \div 0,8.10^{-3}$
الموجات الكهربائية	$0,2.10^{-3} \div x.10^{3}$

الاشعاعات المباشرة على حدود الغلاف الجوى : 5% فوق البنفسجية 52% اشعة مرئية 43% اشعة فوق الحمراء .

الاشعاعات المباشرة على سطح الارض : 1% فوق البنفسجية 39% اشعة مرئية 60% اشعة فوق الحمراء .

ان متوسط شدة الاشعاع الشمسي العمودى على هذه الاشعة في المجال الخارجي للهواء الجوى هو وسطيا $I_{sc} = 1362\ w/m^2$ وتسمى solar constant اما الحقيقية لكل شهر I_o فسوف

ترد في جدول لاحق . ويتعلق ويتبع الى الاختلافات الفصلية حيث يكون % 3,5 + في شهر يناير و % 3,5 - في شهر تموز . عند مرور هذه الاشعة خلال الغلاف الجوى فان قسما من هذه القدرة يمتص وقسما يبعثر الى الفراغ وقسما يصل الى الارض عبر الغلاف الجوى . ان القسم الذى يصل الى الارض نسميه اشعاعا مباشرا Direct Radiation والقسم الذى يصل الى الارض من الغلاف الجوى نسميه الاشعاعات السمائية Sky Diffuse Radiation .

بالنسبة الى السماء الصافية فان نسبة شدة الاشعاعات المباشرة والسمائية تتعلق بسماكة طبقة الغلاف الجوى التي تجتازها هذه الاشعة ، وتتعلق ايضا بارتفاع الشمس والارتفاع عن سطح البحر وكمية بخار الماء والغبار والازون وغيرها الموجودة في الهواء الجوى . حيث ان هذه الغازات تبعثر الاشعاعات الشمسية المباشرة في جميع الاتجاهات عند ما تصطدم بها مثل الاوكسجين والآزوت وبخار الماء . كما أن بعض الغازات تمتص قسما من القدرة الحرارية الشمسية وتشعها مرة ثانية مثل الاوزون وغاز الفحم وبخار الماء . كما ان ذرات الغبار الموجودة في الهواء تؤدى الى نفس النتيجة .

يمكننا ان نصنّف الاشعاعات الناتجة عن الشمس الى الاشكال التالية :

١ ـ الاشعاع المباشر I_D : وهو كمية الاشعاع الشمسي المباشر ذى الموجات القصيرة الذى يصل الى مكان ما على سطح الارض $[W/m^2]$

٢ ـ الاشعاع الشمسي المباشر العمودي I_{DN} :

Direct Normal Solar Radiation

وهو كمية الاشعاع الشمسي المباشر ذي الموجات القصيرة الذي يصل الى مكان ما على سطح الارض على سطح عمودي على الاشعة الشمسية $[w/m^2]$

٣ ـ الاشعاع الشمسي السمائي الغير مباشر I_{ds} :

Sky Diffuse Radiation

وهو الاشعاع الذي يصل الى الارض من الغلاف الجوي وينشأ عن ارتداد وانعكاسات الاشعاعات الشمسية عند اصطدامها بالغازات والغبار الموجودة في الغلاف الجوي .

٤ ـ الاشعاع الشمسي الارضي الغير مباشر I_{dg} :

وينشأ عن ارتداد وانعكاس الاشعاعات الشمسية من سطح الارض

٥ ـ الاشعاع الشمسي الكلي على سطح معين ويعطى بالعلاقة :

$$I_t = I_{DN} \cdot \cos\theta + I_{ds} + I_{dg}$$

٦ ـ ٢ الاشعاعات الشمسية المباشرة :

ان نقصان الاشعاع الشمسي المباشر العمودي I_{DN} عن شدة الاشعاع الشمسي الذي يصل الى الغلاف الجوي I_{sc} يمكن التعبير عنه بعلاقة Gamburg التقريبية

$$\frac{I_{DN}}{I_{sc}} = \frac{\sin h}{\sin h + C}$$

حيث φ عامل يحدد مقدار نظافة الجو وتتراوح قيمته بين $0,3 \div 0,8$

h ارتفاع الشمس

I_{SC} شدة الاشعاع الشمسي على محيط الغلاف الجوى في التاريخ المطلوب

اما من اجل الحسابات الدقيقة فيفضل استعمال علاقة بالشكل التالي :

$$\frac{I_{DN}}{I_{SC}} = \left(\frac{I_C}{I_{SC}}\right)^z = e^{-zbm_L}$$

ومنه

$$z = \frac{\ln (I_{SC}/I_{DN})}{\ln (I_{SC}/I_C)}$$

حيث z هو عامل تلوث الهواء الجوى وتتراوح قيمته بين $6 - 2 - 1$ ويؤخذ عادة بقيمة 3 في القرى والمدن النظيفة وبقيمة 6 داخل المدن الكبيرة

I_C هي شدة الاشعاع الشمسي المباشر عند اختراق هواء جوى نظيف

b عامل امتصاص شدة الاشعاع الشمسي لهواء نظيف تماما

m_L الكتلة النوعية للهواء في مقطع $1\ cm^2$ ومقياسه Kg/cm^2 وتتعلق بضغط الهواء وارتفاع الشمس وقيمتها $m_L = C\frac{P}{P_0}$

حيث ان : P هو الضغط الحقيقي و P_0 هو الضغط

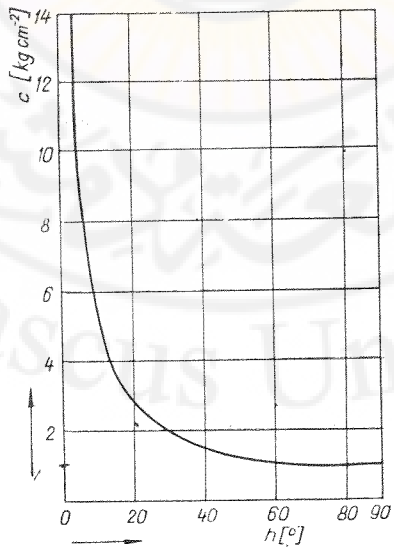
العادي على سطح البحـــر و c عامل يتعلق بارتفـــاع الشمس عن الافق

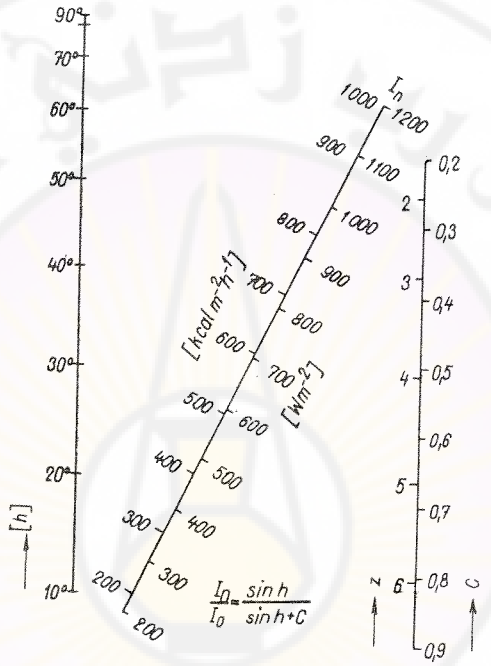
عند ما يكون الهواء نظيفا تماما فان $z = 1$ ومنه ينتـــج ان شدة الاشعاع الشمسي المباشـــر :

$$\frac{I_c}{I_{sc}} = e^{-bm_L}$$

ان اللائحـة التالية تبين قيم bm_L بالنسبة الى m_L والشكل التالي يبين قيمـة c بالنسبة الى ارتفاع الشمس عن الافق وشـدة الاشعاع الشمسي المباشـر I_D طبقا الى علاقـــة Camburg

كتلة الهواء المضاءة m_L	0,5	1	2	3	4	6	8	10
$b.m_L$	0,0501	0,097	0,179	0,246	0,307	0,403	0,479	0,548





ان ASHRAE يعطي علاقة اخرى تبين قيمة الاشعاع الشمسي المباشر وهي :

$$I_{DN} = \frac{A}{e^{B/\sin h}}$$

حيث I_{DN} هي شدة الاشعاع الشمسي المباشر على سطح عمودي على هذه الاشعة الشمسية

A شدة الاشعاع الشمسي عندما تكون كتلة الهواء مساوية الى الصفر

B عامل خمود الجو

ان قيم A و B هي طبقا للجدول التالي :

I_o شدة الاشعاع الشمسي الحقيقي خلال اشهر السنة على حدود غلاف الهواء الجـــوى

الشهـــر	ك ٢	شباط	آذار	نيسان	مايس	حزيران	تمـوز	آب	ايلول	ت١	ت٢	ك١
I_o W/m^2	1395,6	1384,3	1363,4	1340,7	1320,6	1309,8	1311,1	1324,0	1344,5	1366/9	1387,7	1398,5
W/m^2 A	1229,4	1213,7	1185,3	1134,9	1103,4	1087,6	1084,4	1106,5	1150,6	1191,6	1220	1232,6
B	0,142	0,144	0,156	0,180	0,196	0,205	0,207	0,201	0,177	0,160	0,149	0,142
C	0,058	0,060	0,071	0,097	0,121	0,134	0,136	0,122	0,092	0,073	0,063	0,057

ان قيم I_{DN} طبقا لهذه المعادلة مذكورة في الجدول 2 الى الجدول 10 من الفصل 26 في كتاب ASHRAE من اجل يوم صاح من خط عرض 0° ولغاية 64° شمالا . ان قيم A و B تختلف خلال فصول السنة نتيجة تغيرات كمية الغبار وبخار الماء التي يحويها الهواء ونتيجة تغيرات مسافة الشمس عن الارض . ان القيم المذكورة في جداول ASHRAE درست من قبل جامعة Minesota حيث اخذت بعين الاعتبار القيم الوسطية التي حدثت خلال الشهر، كما اخذت بعين الاعتبار الايام الغائمة . اما من اجل يوم صاح تماما فان قيم I_{DN} تكون اكبر من القيم المحسوبة بالعلاقة السابقة بـ .

٦ ـ ٢ ـ ٢ الاشعاعات الشمسية غير المباشرة :
Diffuse Solar Radiation

تنشأ عن ارتداد وامتصاص الاشعاع الشمسي عن الاجزاء المختلفة الموجودة في الهواء مثل قطرات الماء والغبار والغازات الاخرى ثم بث قسم من هذه القدرة مرة ثانية الى سطح الارض I_{ds} كما تنشأ ايضا عن ارتداد الاشعاع الشمسي من سطح الارض (اشعاعات ذات موجات طويلة) I_{dg} .

ان ASHRAE يعطي العلاقة التالية لحساب الاشعاع الشمسي السمائي الغير مباشر على اى سطح كان :

$$I_{ds} = C \cdot I_{DN} \cdot F_{sc}$$

حيث C هو عامل الاشعاع الغير مباشر ونجده في الجداول

CI_{DN} الاشعاع الشمسي السمائي الذى يسقط على سطح افقي

F_{sc} العامل الزاوى بين السطح والسماء وقيمتها 0,5 للسطح الشاقولي و 1 للسطح الافقي . اما من اجل السطوح الاخرى فقيمتها $F_{sc} = (1+\cos\Sigma)/2$ علما ان Σ هي الزاوية بين الافق والسطح المعتبر (ميل السطح عن الافق)

ومنه فان شدة الاشعاع الشمسي الكلي الذى يسقط على سطح الارض يعطى بالعلاقة

$$ItH = I_{DN} \cdot C \cdot 1 + I_{DN} \cdot \sinh = I_{DN}(C + \sinh)$$

اما شدة الاشعاع الشمسي الارضي الغير مباشر الذى يسقط على يسقط على اى سطح فتحسب من العلاقة التالية

$$Idg = ItH \cdot \rho g \cdot F_{sg}$$

حيث ρg عامل انعكاس الارض (بدون قياس) موجود في الجداول وتابع الى لون الارض وارتفاع الشمس .

F_{sg} عامل الزاوية بين السطح والارض $F_{sg}=(1-\cos\Sigma 1)/2$

مثـــــال :

احسب شدة الاشعاع الشمسي الغير مباشر الذى يسقط علـــى سطح مائل بزاوية عن الافق تساوى 30° وموجه شمال جنوبي عند الساعـــة 8 صباحا بتاريخ 21 تموز وعند خط عرض 40° .

من الجداول نجد ان $h=35^\circ$ و $I_{DN} = 759,7\ w/m^2$ عند خط عرض 40° وفي الساعة الثامنة شمسية . ونجد أن $C = 0,136$ عند 21 تموز

$$F_{sg} = (1 - \cos 30)/2 = 0,067$$

اى ان العامل الزاوى بين السطح والسماء

$$F_{ss} = 1 - 0,067 = 0,933$$

$$I_{ds} = 0,136 \cdot 759,7 \cdot 0,933 = 96,4\ w/m^2$$

ان شدة الاشعاع الشمسي الكلي التي تسقط على الارض

$$I_{tH} = 759,7\ (0,136 + \sin 35) = 539\ w/m^2$$

فاذا فرضـــنا ان عامل انعكاس الارض هو 20 % فان قيمة الاشـــــعاع الارضي التي تسقط على السطح المدروس

$$I_{dg} = I_{tH} \cdot \rho_g \cdot F_{sg}$$

$$I_{dg} = 539 \cdot 0,20 \cdot 0,067 = 7,22$$

ومنه فان شدة الاشعاع الغير مباشر الكلي الذى يسقط هو

$$I_{ds} + I_{dg} = 96,4 + 7,22 = 103,62\ w/m^2$$

والجدول التالي يبين قيم ρ_g بالنسبة لزاوية سقوط الشمس ونوع سطح الارض

سطح الارض	زاوية سقوط الشمس بالدرجة					
	70	60	50	40	30	20
ارض حصوية جديدة	0,34	0,33	0,32	0,32	0,31	0,31
ارض حصوية قديمة	0,25	0,23	0,23	0,22	0,22	0,22
ارض عشبية خضراء	0,31	0,28	0,25	0,23	0,22	0,21
ارض صخرية مكسرة	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
ارض مزفتة وحصوية	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
ارض حديقة ومزفتة	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0.09

تأثـــير ارتفاع الشمس على قيم شدة الاشعاع الشمسي :

مثـــال :

احسب شدة الاشعاع الشمسي الكلي الغير مباشر الذى يسقط بشكل عمودى على سطح افقي في شهر تموز عند خط عرض 40° وارتفاع عـــن سطح البحـــر يساوى 2000 m. عند انعكاسية للارض تساوى 0,2

$$I_{DN} = \frac{A}{e^{B/\sin h}} = \frac{1084,4}{e^{0,207/\sin}} = 786 \ w/m^2$$

ان هذه القيمة هي عند سطح البحر، اما على ارتفاع 2000m عن سطح البحر فان هذه القيمة تزداد بمقدار 24% طبقا الى الجدول التالـــــي الذى يبين زيادة شدة الاشعاع الشمسي المباشـــر بالنسبة الى ارتفـــاع الشمس والارتفاع عن سطح البحر .

الارتفاع عـن سطح البحر	ارتفـــــاع الشـــمس									
	10	20	25	30	35	40	50	60	70	80
1000 m	32	22	17	16	14	13	12	11	10	10
1500 m	51	32	26	23	21	19	16	15	14	14
2000 m	66	40	34	29	27	24	21	19	18	18
3000 m	89	51	43	37	34	34	31	27	22	22

$$F_{sg} = (1 - \cos 90^\circ)/2 = 0,5 \quad F_{ss} = 1 - F_{sg} = 0,5$$

$$I_{ds} = 1,24\,(0,139 \cdot 786 \cdot (1 - 0,5) = 67,7 \ w/m^2$$

$$I_{dg} = 1,24\,(786)(0,139 + \sin 40).\,0,2 \cdot 0,5 = 74,2$$

$$I_{ds} + I_{dg} = 142 \ w/m^2$$

هذا وتوجد جداول تعطينا قيمة الاشعاع الشمسي الغير مباشر Sky Diffusion Radiation والاشعاع الشمسي الغير مباشر الناتج عن الارض بالنسبة الى سطوح افقية وعامودية خلال اشهر السنة وعند ارتفاع الشمس المطلوب عند سطح البحر .

ملاحظة : ان شدة الاشعاع الشمسي الغير مباشر Sky Diffuse Radiation تزداد عندما تكون السماء غائمة وكلما انخفضت الغيوم على سطح الارض حسب العلاقة التالية

$$I_{ds}' = I_{ds}\,(1 + k \cdot \beta^{2,5})$$

حيث β عامل السماء الغائمة وقيمته $\beta = 0 \div 1$

k عامل يبين نوع الغيوم الموجودة في السماء ، فمثلا

عند ما تكون غيوم cirkus حيث ارتفاعها عن الارض اكثر من 6000 m فان $k = 0,04$

وعند ما تكون غيوم kumuls حيث ارتفاعها عن الارض اكثر من $600 \div 2000$ فان $k = 0,2$

وعند ما تكون غيوم stratus حيث ارتفاعها عن الارض اقل

من 600 m فان $K = 0,42$

ان الاشعاعات الحرارية الجوية ذات الموجة الطويلة لهـــا تأثير كبير في الليل ، لهذا فانها تسمى في بعض الاحيان اشعاعات ليلية .

مثـــال :

اذا كان ارتفاع الشمس $h = 62\frac{1}{2}^\circ$ وسمت الشمس $\phi = 82\frac{1}{2}'$

احسب شـــدة الاشعاع الشمسي المباشـــر

١ ــ العمودي على ســـطح افقـــي

٢ ــ العمودي على ســـطح شاقولي موجه جنوب ــ غرب

الحـــل :

$$I_\xi = I_{DN} \cdot (\cos h \cos\gamma \sin\xi + \sin h \cos\xi)$$

باعتبار أن $\xi = 0$ فان $\cos\xi = 1$ وان $\xi = \theta$ ومنـــه

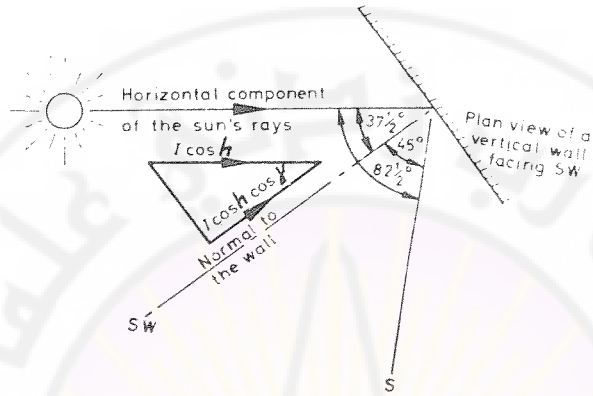
$$I_h = I_{DN} \sin h = I_{DN} \sin 62\frac{1}{2} = 0,887\, I_{DN}$$

٢ ــ باعتبار ان السطح شاقولي فان $\xi = 90^\circ$ ومنه $\cos\xi = \theta$

$$I_v = I_{DN} \cdot \cos h \cdot \cos\gamma \qquad \text{وان } \sin 90^\circ = 1$$

حيث γ هي زاوية سمت الجدار الشمسية وقيمتها كما هو واضح تســاوي الى $\gamma = 37\frac{1}{2}'$ ومنـــه

$$I_v = I_{DN} \cos 62\frac{1}{2}^\circ \cos 37\frac{1}{2} = 0,366\, I_{DN}$$



مثـــال :

احسب شدة الاشعاع الشمسي المباشر الذى يسقط بشـــكل عمودى علـى سطح مائل عن الافق بزاوية $\Sigma = 30^\circ$ والموجه نحو الجنـــوب الغربي عندما يكون ارتفاع الشمس $h = 62\frac{1}{2}$ وسمت الشمس من الغـــرب الشمالي $82\frac{1}{2}^\circ$.

الحـــل :

$$I_\Sigma = I_{DN}\left(\cos 62\tfrac{1}{2}^\circ \cos 37\tfrac{1}{2}^\circ \sin 30^\circ + \sin 62\tfrac{1}{2} \cos 30\right)$$

$$= 0,95\, I_{DN}$$

اما اذا كان السطح مائلا بزاوية تســـاوى $\Sigma = 90 + 30$ فيكـون

$$I_\Sigma = I_{DN}\left(\cos 62\tfrac{1}{2} \cos 37\tfrac{1}{2} \sin(120+30) + \sin 62\tfrac{1}{2} \cos 30\right)$$

$$I_\Sigma = I_{DN} \cdot 0,584$$

٧ حســـاب الربح الحرارى للمكان المكيف

ان الربح الحرارى للمكان المكيف ينقسم الى ربح حرارى ناتـج عن المصادر الخارجية وربح حرارى ناتج عن المصادر الداخليـــة ٠

٧ ـ ١ الربح الحرارى الناتج عن المصـادر الخارجية :

وينتج عن الربح الحرارى من الجدران الخارجية والربح الحرارى من النوافـــــذ ٠

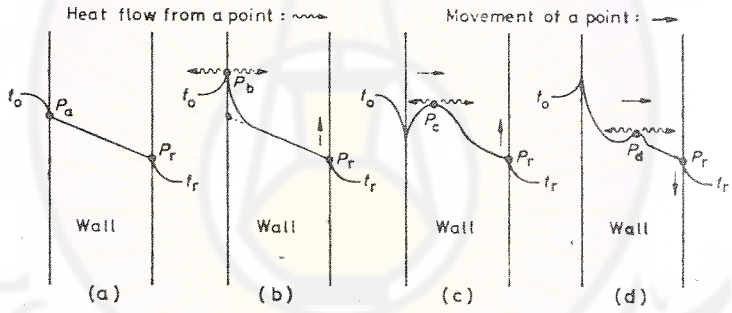
٧ ـ ١ ـ ١ حساب الربح الحرارى من الجدران : ان الربح الحرارى من خلال الجدران هو اعتباريا وعند الحالة المستقرة steady state ، التدفق flow الذى يحصل نتيجة انخفاض درجة الحرارة الداخلية عـــن درجة الحرارة الخارجية بالاضافة الى الربح الحرارى الغير مستقر الناتج عـن تغير شدة الاشعاع الشمسي على السطح الخارجي للجدار٠ ان ظاهـــرة الحالة الغير مستقرة للتدفق الحرارى عبر الجدار معقّدة ايضا حيث ان هناك سعة حرارية thermal capacity للجدار، وحيث ان كمية معينـــة من الحرارة التي تعبر الجدار تختزن داخله وتظهر الى الداخل او الخارج بعد فترة معينة من الزمـن ٠

هذا وعند حساب الربح الحرارى يجب الاخذ بعين الاعتبـــار عاملين هاميـــن همـــا

١ ــ تغير درجة الحرارة اليومية

٢ ــ تغير شدة الاشعاع الشمسي على السطح الخارجي للجدار

والشكل التالي يبين ذلك



حيث الشكل A يبين التدفق الحرارى عند الحالة المستقرة ويظهر أن منحني تغير درجة الحرارة خلال الجدار هو خط مستقيم يتعلق ميله بفرق درجة الحرارة الخارجية ودرجة الحرارة الداخلية للجدار وسماكة هذا الجدار. ان حساب الربح الحرارى في هذه الشروط هو مثل حساب الضياع الحرارى عند

الحالـــة المســـتقرة

$$q = u\ (t_o - t_i)$$

حيث q التدفق الحـرارى بـ $[W/m^2]$

u عامل النفـوذ الحرارى بـ $[W/m^2.C^\circ]$

t_i درجة الحرارة الداخلية

t_o درجة الحرارة الخارجية

ان الشكل B يبين تأثير ارتفاع درجة حرارة السطح الخارجية (حيث ان درجة الحرارة في النقطة P_b أكبر منها فـــي النقطـــة P_a) وذلك نتيجة استلام السطح الخارجـــي الاشعاع الشمسي • ويبين ان الحرارة تنتقل من P_b فـــي الاتجاهين وذلك لأن درجة حرارة السطح اعلى من درجـــة حرارة الهواء ومادة الجدار القريبة منهـا •

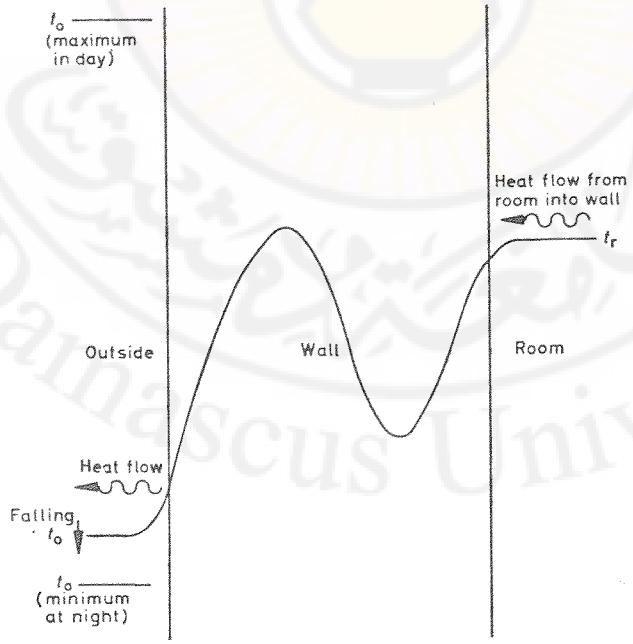
ان الشكل C يبين الحالة عند نقصان (تضاؤل) الاشعاع الشمسي باعتبار ان الحرارة تنتقل من P_b لذلك فان قيمـة درجة الحرارة في P_c هي أقل منهـا في P_b •

ان الشكل D يبين الحالة عند ارتفاع درجة حـــرارة السطح الخارجية مرة ثانية عن درجة الحرارة الخارجية للهـواء

من الواضح ان رأس الموجة والممثلة في النقاط P_d, P_c, P_b, P_a تنتقل الى اليمين وان قيمتها تتناقص • وهكذا حتى تصل الموجة الـــى السطح الداخلي للجدار •

ان الجدران السميكة لها سعة حرارية كبيرة والتي تكون مانعة للموجة الحرارية من الوصول الى السطح الداخلي ، بينما الجدران الرقيقة لها ممانعة قليلة والتذبذب في درجة حرارة السطح الخارجية ستظهر (وبسرعة) في تذبذب درجة الحرارة الداخلية للجدار .

هذا ومن الممكن ان تكون درجة حرارة السطح الداخلية اقل من درجة حرارة الغرفة عند وقت معين من النهار، وذلك لأن درجة حرارة السطح الخارجية تنخفض اثناء الليل نتيجة الاشعاع الى السماء السوداء وتأثير ذلك هو انخفاض درجة حرارة السطح الداخلية بعد فترة من الزمن : اى انه في هذا الوقت يجب من تقليل الحمل التبريدى وذلك لانتقال الحرارة من الغرفة عبر الجدار الى الخارج والشكل التالي يبين ذلك :



٧ ـ ١ ـ ٢ درجة الحرارة الشمسية الهوائية t_e :

وهي درجة حرارة الهواء الخارجية الوهمية التي لها نفس التأثير الحرارى على الجدران والسطوح والنوافذ عند وجود انتقال الحرارة بالحمل والاشعاع، وتعطى بالعلاقة التالية

$$t_e = t_o + \frac{a I_t}{\alpha_o} - \frac{\varepsilon \Delta R}{\alpha_o} = t_o + R_o . a . I_t - R_o . \varepsilon . \Delta . R$$

حيث t_e درجة الحرارة الشمسية الهوائية $[C^\circ]$ على سطح معين وباتجاه معين

t_o درجة حرارة الهواء الخارجية الجافة $[C^\circ]$

a عامل امتصاص السطح الخارجي الى الاشعاع الشمسي وقيمته تتراوح بين $0,45 \div 0,9$ حسب لون السطح ، ويمكن ايجاد قيمتها من جداول

I_t شدة الاشعاع الشمسي الكلي على السطح المعين $[W/m^2]$

aI_t كمية الحرارة التي تنفذ بالاشعاع بين سطح الجدار والمحيط القيمة الممتصة موجبة والقيمة المرسلة سالبة (من السطح)

α_o عامل انتقال الحرارة بالحمل (للاشعاعات الطويلة الموجة) للسطح الخارجي وقيمته تقريبا $[17 \div 20 \div 25\ W/m^2 C^\circ]$

ε عامل الاصدار emissivity النصف كروى hemispherical للموجات الطويلة للسطح الخارجي وقيمته يمكن فرضها مساوية الى $0,9$ ، اما السطوح الناعمة جدا او الملبسة بالالمنيوم فقيمتها $0,2 \div 0,04$

ΔR الفرق بين الاشعاعات طويلة الموجة التي تسقط على السطح

من السماء والسطوح المجاورة والاشعاع الذى ينبعث من الجسم التام السواد عند درجة الحرارة الجافة الخارجية [W/m^2]

R_o عامل المقاومة الحرارية للسطح الخارجي ويساوى $\frac{1}{\alpha_o}$ وقيمتة تتراوح تقريبا بين $0,05\ m^2C^\circ/W$ للجدران و $0,04\ m^2C^\circ/W$ للسطوح .

ان قيمة العامل المركب $\varepsilon . \Delta R . R_o$ هي $-3,8C^\circ$ عندما يكون السطح افقيا .

وان قيمة هذا العامل المركب $\varepsilon . \Delta R . R_o$ هي 0 عندما يكون السطح شاقوليا .

لذلك ، وبشكل تقريبي ، يمكن كتابة درجة الحرارة الشمسية الهوائية من المعادلة

$$t_e = t_o + \frac{a . It}{\alpha_o}$$

من هذه المعادلة يمكن حساب درجة الحرارة الشمسية الهوائية لأى خط عرض وبمعرفة تغيرات درجة الحرارة الجافة الخارجية ومعرفة عامل الامتصاص a ، وشدة الاشعاع الشمسي الكلي خلال ساعات الشهر ومعرفة عامل انتقال الحرارة بالحمل للسطح الخارجي .

٧ ــ ٢ الطرق العملية لحساب الربح الحرارى من خلال الجدران والسقوف

هناك عدة طرق عملية ومستعملة عند حساب النفوذ الحرارى من خلال الجدران وهي :

١ ــ زيادة عامل النفوذ الحرارى بحيث يشمل ليس فقط عامل انتقال الحرارة

بالحمل والناتج عن فرق درجة حرارة الهواء الخارجية والداخلية بل يشمل ايضا عامل انتقال الحرارة بالاشعاع والناتج عن تذبذب في شدة الاشعاع الشمسي على السطح الخارجي للجدار.

٢ ـ زيادة درجة حرارة الهواء الخارجية بحيث ينتقل بالحمل فقط نفس كمية الحرارة التي تنتقل في الحقيقة وعند وجود تأثير الحمل والاشعاع سوية. ان درجة الحرارة هذه تسمى درجة الحرارة الشمسية الهوائية Sol-Air Temperature

٣ ـ استعمال فرق درجات الحرارة المعادلة الكلية TETD :

من حساب الربح الحرارى يمكن حساب الحمل التبريدى. وفي المدة الاخيرة حساب الحمل التبريدى مباشر ASHRAE 1977

٧ ـ ٢ ـ ١ حساب الربح الحرارى من الجدران والسقوف بطريقة IHVE :

كما وجدنا سابقا في بحث المواصفات الحرارية للابنية فان اكثر مواد البناء لها حرارة نوعية حوالي $0,84\ KJ/Kg\,C^{\circ}$ ولهذا فان سعتها الحرارية تتعلق بالدرجة الاولى بكثافتها وسماكتها. ان معهد التجارب اعطى كما رأينا ثلاثة منحنيات يمكن بواسطتها معرفة عامل التأخر الزمني بالساعات بمعرفة سماكة الجدار وكثافته النوعية. كما ويمكن معرفة عامل التناقص لكمية الحرارة بمعرفة سماكة الجدار.

٦ ـ عند اعتبار الحالة المتوسطة والسعة الحرارية اللانهائية للجدار فان التدفق الوسطي للحرارة Qm من خلال الجدار الى الغرفة المكيفة وعند درجة حرارة داخلية ثابتة t_i يعطى بالعلاقة

$$Q_m = A.U\ (tem - t_i)$$

ونطبقها عند ما يكون للجدار $D > 1,5$ اى الكثافة الحرارية للجـــــدار لانهائية وهي صالحـــة في اى وقت من النهـــار ٠

حيث tem هي درجة الحرارة المتوسطة لدرجة الحرارة الشمسية الهوائيـــة خلال فتـــرة 24 ساعة ٠

ب ـ عند اهمال تأثير السعة الحرارية فان الربح الحرارياللحـظي الـى الغرفة في اى وقت τ يعطى بالعلاقة التالية وهي بالنسبة للجدران عند ما يكون $D < 1,5$

$$Q_\tau = A.U\ (t_e - t_i)$$

حيث te درجة الحرارة الشمسية الهوائية في اللحظة τ بالنسبة الـى توجيـــه سطح الجـــدار ٠

جـ ـ اما اذا اخذنا بعين الاعتبار تأثير السعة الحرارية للجدار (كمـــا هو في الحقيقـــة) فان التدفق الحرارى الحقيقي لداخل الغرفة يقع بيـــــن القيمتين السابقتين ويحدث في وقت متأخر يساوى الى $\tau + \varphi$

حيث φ عامل التأخر الزمني بالساعات ويتعلق بسماكة وكثافة الجـــدار ويحسب بايجاد التدفق الحرارى الوسطي والتذبذب عـــــن القيمة الوسطية في وقت متأخر $\tau + \varphi$ من العلاقـــة

$$Q(\tau+\varphi) = A.U\ (tem - t_r) + AU(te - tem)f$$

حيث te درجة الحرارة الشمسية الهوائية في الزمن τ

f عامل التناقص لكمية الحرارة ويتعلق بسماكة الجدار

واذا كان الجدار سميكا جدا ، اى اكثر من $600\ mm$ فـــان

عامل التناقص سيكون صغيرا جدا ويمكن اهمال الحد الثاني من المعادلة .

مثال :

احسب الربح الحراري عند الساعة 3 p.m من خلال جدار الى داخل غرفة مكيفة بشكل مستمر ودرجة حراراتها الداخلية 22C° علما بأن :

توجيه الجدار : نحو الشرق

سماكة الجدار : 150 mm

كثافة الجدار : 1200 Kg/m³

خط العرض : 51,7° N

زاوية الميل : 23½ N اى ان الشهر هو حزيران بتاريخ 22.6

درجة الحرارة الخارجية للهواء : 27,3 C° عند الساعة 3 p.m

لون الجدار : اسود

عامل النفوذ الحراري للجدار : $U = 2,27\ W/m^2 C^\circ$

الحل :

من جداول IHVE نجد ان عامل التأخر الزمني هو 5 ساعات وعامل التناقص هو 0,63 . وهذا يعني ان الحرارة التي تقوم الغرفة باستقبالها عند الساعة 3 p.m ستكون داخلة اولا الى السطح الخارجي للجدار قبل خمس ساعات اى عند الساعة 10 a.m .

نجد من الجداول ان درجة الحرارة الشمسية الهوائية عند الساعة 10 a.m هي 41,1 ، وان متوسط درجة الحرارة الشمسية الهوائية

خلال 24 ساعة من اجل جدار موجه نحو الشرق هي $tem = 25,1$

وباستعمال العلاقة السابقة نحصل على

$$Q(10am+5h) = 2,27\,(25,1-22) + 2,27 \cdot (41,1-25,1) \cdot 0,65 \doteq 31\ W/m^2$$

مسألة :

لنفس الجدار السابق احسب الربح الحراري للغرفة عند الساعة $9\ a.m$ الشمسية .

الحل :

ان عامل التأخر الزمني يبقى ثابتا ويساوى 5 ساعات وعامل التناقص يبقى ثابتا ايضا ويساوى $0,65$

ان الربح الحراري عند الساعة $9\ a.m$ من الجدار الى الغرفة سيكون داخلا اولا الى السطح الخارجي للجدار عند الساعة $4\ a.m$ اى قبل خمس ساعات .

من الجدول نجد أنه عند الساعة $4\ a.m$ فان درجة الحرارة الشمسية الهوائية $te = 13,2C^\circ$ وهي مساوية لدرجة حرارة الهواء الخارجية كما أن متوسط درجات الحرارة الشمسية الهوائية يبقى ثابتا ويساوى $25,1\ C^\circ$

ان الربح الحراري عند الساعة $9\ a.m$ يعطى بالعلاقة

$$Q(4\ a.m+5h) = 2,27\,(25,1-22) + 2,27 \cdot (13,2-25,1) \cdot 0,65$$

$$= -10,52\ W/m^2$$

مسألة :

١ ـ احسب التدفق الحرارى الاعظمي في شهر تموز July من خلال سطح افقي سماكة الباطون له 0,15 m مع طبقة اسفلت ، عامل النفوذ الحرارى الكلي $U = 3,3\ W/m^2 C^\circ$.

٢ ـ احسب هذا التدفق الاعظمي عند وجود طبقة داخلية عازلة من الفيبر بورد سماكتها 0,013 m وعامل النفوذ الحرارى الكلي للجدار سيكون $h = 1,8\ W/m^2 C^\circ$ ، بفرض ان درجة حرارة الهواء المحيطية في الغرفة $20\ C^\circ$ وعند خط عرض 51,7 .

الحل :

١ ـ من الجداول نجد أن درجة الحرارة الشمسية الهوائية الوسطية هي $26,4\ C^\circ$ ونجد ايضا ان اعلى درجة حرارة شمسية هوائية تحدث الساعة 13 p.m وقيمتها $49,7\ C^\circ$. كما نجد أن عامل التأخر الزمني هو 5 ساعات اى ان الربح الحرارى الاعظمي يحدث عند الساعة 18 p.m ، ونجد أيضا ان عامل التناقص هو 0,65 ومنه يمكن حساب الربح الحرارى الاعظمي من العلاقة

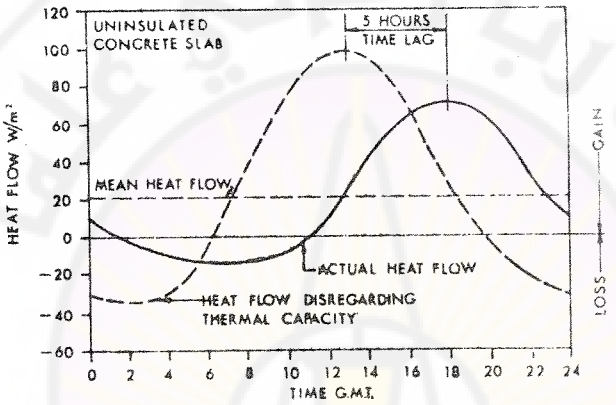
$$q = 3,3\,(26,4-20) + 0,65\,[3,3\,(49,7-26,4)]$$
$$= 21,1 + 50 = 71,1\ W/m^2$$

عند اهمال تأثير السعة الحرارية للبناء فان الربح الحرارى الاعظمي

$$q = 3,3\,(49,7-20) = 98,0\ W/m^2$$

٢ ـ عند الاخذ بعين الاعتبار وجود العازل الحرارى فان عامل التناقص يصبح 0,48 وعامل التأخر الزمني 5,5 ساعة ، ومنه

$$q = 1,8(26,4-20) + 0,48[1,8(49,7-26,4)] = 11,5 + 20,1 = 31,6\ W/m^2$$



٧ ـ ٢ ـ ٢ حساب الربح الحرارى بطريقة الفرق الكلي لدرجة الحـــــرارة المعادلـــــة T E T D :

ان هذه الطريقة مشروحة في ASHRAE 1972 .

يتم حساب الربح الحرارى من السطوح التي لا تسمح بنفـــوذ اشعة الشمس مـــن المعادلـــة

$$Q = A . U . \Delta te$$

حيث A هو مساحة الســـطح بـ m^2

U عامل النفوذ الحرارى للسطح $W/m^2 C^\circ$

Δte الفرق الكلي لدرجة الحرارة المعادلة اى TETD

ان قيم Δte موجودة في جداول من اجل الجدران ومـــن

اجل السقوف المعرضة لاشعة الشمس وقيمتها تأخذ بعين الاعتبار ساعة التصميم الشمسية ولون الجدار وعامل النفوذ الحراري له وعامل التناقص وعامل التأخر الزمني وتوجيه الجدار ، كما ان الجداول محسوبة عند خط عرض 40 وعند ما تكون درجة حرارة الهواء الداخلية (75 F°) 24,9 C° واعلى درجة حرارة للهواء الخارجي (95 F°) = 35 C° ومدى درجات الحرارة الخارجية (21 F°) = 11,55 .

ان الجدول يبقى صحيحا بشكل تقريبي في حال درجات حرارة خارجية (93 ÷ 102 F°) = (34 ÷ 39 C°) ومدى درجات الحرارة الخارجية (16 – 34 F°) = (8,8 ÷ 18,7 C°) مع ثبات درجة الحرارة الخارجية الوسطية مساوية الى 29 C° = 85 F° .

في حال اختلاف المواصفات المحسوبة طبقا اليها هذه الجداول عن المواصفات التصميمية فانه يجب اجراء تصليحات على الفرق الكلي لدرجة الحرارة حسب التعليمات المذكورة في هذه الجداول وهي :

١ ـ عند اعتماد t_i اصغر من 24 C° = 75 F° يؤخذ الفرق بين t_i – 24 ويضاف الى Δt_e المأخوذة من الجدول .

٢ ـ عند اعتماد t_i اكبر من 24 C° = 75 F° يؤخذ الفرق بين t_i – 24 ويطرح من Δt_e المأخوذة من الجدول .

٣ ـ عند ما يكون معدل درجات الحرارة الخارجية اليومية اكبر من 29 C° = 85 F° يؤخذ الفرق ويضاف الى Δt_c .

٤ ـ عند ما يكون معدل درجات الحرارة الخارجية اصغر من 29 C° = 85 F° يؤخذ الفرق ويطرح من Δt_e

٧ ـ ٢ ـ ٣ حساب الربح الحرارى من الجدران والسقوف الداخلية ومن الأرض :

عند ما يكون المكان المكيف مجاورا لمكان آخر غير مكيف يختلف عنه بدرجة الحرارة فان التدفق الحرارى يحسب من المعادلة :

$$Q = U . A (t_b - t_i)$$

حيث U عامل النفوذ الحرارى الكلي للسطح بين المكان المكيف وغير المكيف

t_b درجة حرارة هواء المكان المجاور الغير مكيف

t_i درجة حرارة هواء المكان المكيف

ان درجة حرارة المكان المجاور t_b يمكن أن تأخذ أى قيمة طبقا لوضعية البناء المجاور. فاذا كان هذا البناء مكانا للطبخ فان درجة حرارته يمكن ان تكون اعلى من درجة الحرارة الخارجية بـ 8 درجات ولغاية $25^{\circ}c$ حسب شدة التهوية. واذا كان البناء المجاور لا يحتوى على اية مصادر حرارية داخلية فيمكن ان يؤخذ الفرق $\Delta t = t_b - t_i$ مساويا للفرق بين درجة الحرارة الخارجية ودرجة الحرارة الداخلية ناقصا ثلاث درجات . هذا وفي بعض الاحيان تكون درجة حرارة المكان المجاور قريبة من درجة الحرارة الخارجية خلال ساعات النهار. ويفضل قياس درجة حرارة المكان المجاور لحساب الربح الحرارى بدقة . من اجل الارض والجدران الملامسة بشكل مباشر مع الارض والغير مكيفة او مهواة فان الربح الحرارى من الارض والجدران يمكن اهماله .

٧ ـ ٣ حساب الربح الحراري من النوافـــذ :

اذا كانت قيمة الاشعاع الشمسي العمودي I_{DN} $[W/m^2]$ فان قيمة الاشعاع الشمسي التي تسقط بشكل عمودي على سطح الزجاج

$$I_{\measuredangle} = I_{DN} \cos\theta$$

حيث $I_{\measuredangle}$ شدة الاشعاع الشمسي العمودي على سطح الزجاج

I_{DN} شدة الاشعاع الشمسي المباشر العمودي على هذه الاشعة

θ زاويـة السـقوط

ان جزءا من الاشعاع الشمسي $I_{\measuredangle}$ ينعكس من سطح الزجاج الى الهواء الخارجي وجزءا ينتقل من خلال الزجاج الى المكان المكيف وجزءا يمتصه الزجاج ويؤدي الى رفع درجة حرارته حيث ينتقل هذا الجزء بالحمل الى خارج المكان المكيف والى داخله. لهذا فمن الضروري معرفة خـواص الزجاج الحرارية لمعرفة هذه الاجزاء الحرارية الثلاثة .

ان النسبة بين شدة الاشعاع الشمسي التي يمتصها الزجـاج وبين شدة الاشعاع الشمسي الكلي التي تسقط على الزجاج نسميها عامـل الامتصـاص

$$A = \frac{I_A}{I_{\measuredangle}}$$

كما ان النسبة بين شدة الاشعاع الشمسي التي تنفذ من خلال الزجـاج وشدة الاشعاع الشمسي الكلي التي تسقط على الزجاج نسميها عامـل الناقليـة او عامل النفوذ

$$T = \frac{I_T}{I_{\measuredangle}}$$

والنسبة بين شدة الاشعاع الشمسي التي تنعكس من سطح الزجاج وشدة الاشعاع الشمسي الكلي نسميها عامل الانعكاس

$$R = \frac{I_R}{I_\varepsilon}$$

ومنه ينتج $A + R + T = 1$

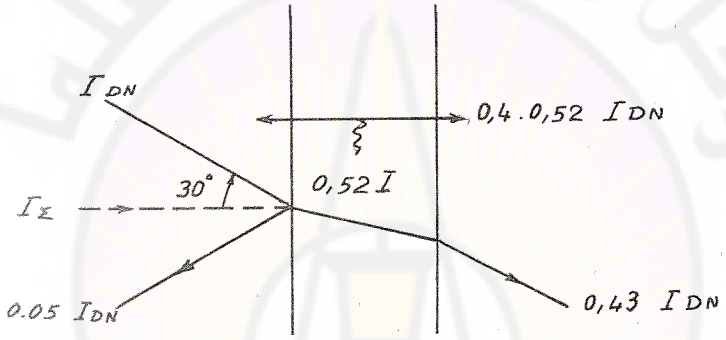
ان الجدول التالي يعطي نظرة للجزء الذى ينفذ عبر الزجاج والجزء الذى يمتصه الزجاج بالنسبة الى زاوية سقوط تقع بين والزجاج عادى سماكة

زاوية السقوط							
0	20°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
المنقولة Transmissivity							
0,87	0,87	0,86	0,84	0,79	0,67	0,42	0
الممتصة Absorptivity							
0,05	0,0	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0

وكما نرى من الجدول فانه عند ما تقع زاوية السقوط بين $60^\circ \div 0^\circ$ وبالنسبة الى زجاج عادى فان الجزء الذى ينفذ خلال الزجاج هو 85% من الطاقة التي تسقط عليه و 6% منها يمتصه الزجاج والباقي 9% ينعكس الى الخارج. وعند زيادة زاوية السقوط عن 60° فان الجزء من الطاقة الذى ينفذ يتناقص.

وتوجد انواع اخرى من الزجاج غير الزجاج العادى لها

خاصية زيادة نسبة الطاقة التي تعكسها او تمتصها وذلك اما بتغيير لـــون الزجاج او زيادة سماكته او معالجات حرارية خاصة به . فمثلا ، يوجد نـــوع من الزجاج يؤدى الى نقص في كمية الحرارة التي تنتقل الى المكان المكيف كما هو واضح في الشكل .



الربح الحرارى نتيجة سقوط الاشعة الشمسية ونفرض ان زاوية السقوط تقـــع بين $0 - 30^\circ$ اى $I_{DN} = I_{\measuredangle}$

$$q_q = 0,43\ I_{DN} + 0,4 . 0,52\ I_{DN} = 0,638\ I_{DN}$$

ان النوع المرسوم سابقا يعكس كمية من الحرارة اقل من الزجاج العادى بينما يمتص كمية اعلى من الزجاج العادى ، ويؤدى الى انقاص كمية الحرارة التي تنتقل لداخل المكان المكيف . وان الهدف الرئيسي للانـــواع المختلفة من الزجاج هو زيادة او تخفيض كمية الحرارة المنقولة الى داخـــل المكان المكيف وذلك حسب البلد وحسب المناخ وذلك اما بتغيير لـــــون الزجاج او بزيادة كمية الطاقة التي يمتصها او بمعالجات حرارية خاصة .

عند ما يمتص الزجاج الطاقة الحرارية فان ذلك يؤدى الـــى

زيادة في درجة حرارته وبالتالي الى انتقال الحرارة من سطحه بالحمـــــل والاشعاع الى داخل المكان المكيف والى خارجه، ويتعلق ذلك بعامـــــل انتقال الحرارة بالحمل الداخلي والخارجي للزجاج α_o , α_i

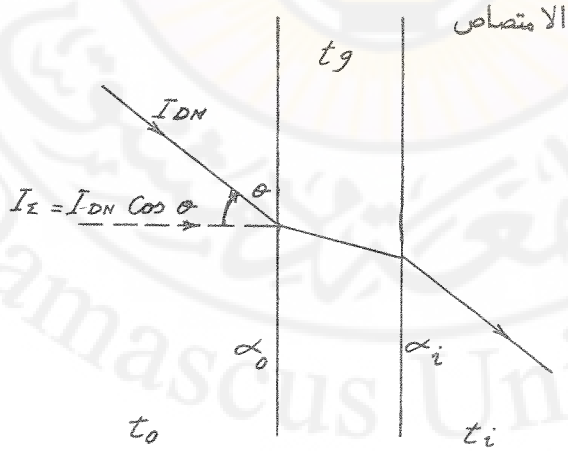
فاذا فرضنا ، ولتسهيل الحسابات واعتبار ان سماكة الزجاج بسيطة، ان درجة حرارة الزجاج متناسقة ينتج ان الربح الحرارى للزجـــاج يساوى الضياع الحرارى منـــــه ، وبالرجوع الى الشكل

$$A I_\Sigma = (t_g - t_o)\alpha_o + (t_g - t_r)\alpha_i$$

حيث α_o عامل انتقال الحرارة بالحمل بين السطح الخارجي للزجـــاج والهواء المحيـــط

α_i عامل انتقال الحرارة بالحمل بين السطح الداخلي للزجـــاج والهواء المحيط

A عامل الامتصاص



فاذا فرضـــنا ان $\alpha_o = 22,7 \ W/m^2 C^\circ$

وان $\alpha_i = 7,9 \ W/m^2 C^\circ$

تصبح المعادلة السابقة بالشكل التالي

$$A I_{\xi} = (t_g - t_o) 22,7 + (t_g - t_r) 7,9$$

ومنه نجد

$$t_g = \frac{A I_{\xi} + 22,7\, t_o + 7,9\, t_r}{30,6}$$

مثال :

احسب درجة حرارة زجاج مفرد عادي موجه لأشعة الشمس اذا علمت ان $I_{\xi} = 631\ W/m^2$ وعامل الامتصاص $A = 0,06$ وان $t_o = 28 c^\circ$ و $t_i = 22 c^\circ$

الحل :

$$t_g = \frac{0,06 \cdot 631 + 22,7 \cdot 28 + 7,9 \cdot 22}{30,6} = 27,7 c^\circ$$

اذا فرضنا انه لا توجد للزجاج قابلية للامتصاص ، اى $A = 0$ فان :

$$t_g = \frac{22,7 \cdot 28 + 7,9 \cdot 22}{30,6} = 26,4 c^\circ$$

وبالتالي تكون كمية الحرارة التي تدخل الى المكان المكيف بواسطة الحمل نتيجة الفرق في درجات الحرارة بين الهواء الداخلي والزجاج

$$q = \alpha_i (t_g - t_i) = 7,9 (26,4 - 22) = 34,8\ W/m^2$$

وعندما تكون للزجاج قابلية للامتصاص فان كمية الحرارة التي تدخل الى المكان المكيف بواسطة الحمل تساوى الى

$$\alpha_i (t_g - t_i) = 7,9 (27,7 - 22) = 45\ W/m^2$$

ويبين الجدول التالي بعض مواصفات الزجاج الحرارية :

نوع الزجاج	عامل الامتصاص A	عامل الانعكاس R	عامل الانتقال T
زجاج ابيض 4 mm	0,08	0,08	0,84
زجاج لوحي 6 mm	0,14	0,08	0,80
زجاج ماص للحرارة 6 mm	0,40	0,06	0,54
زجاج فضي مؤلف من صفائح 6 mm	0,45	0,41	0,14

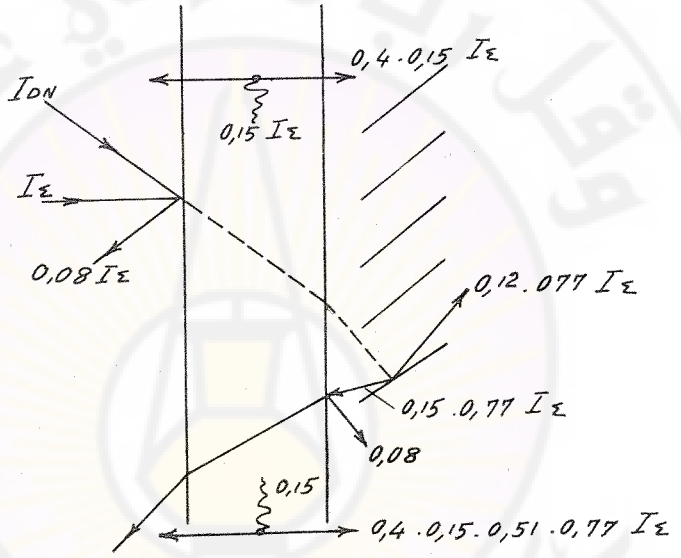
٧ ـ ٣ ـ ١ التظليل الداخلي والتظليل الخارجي والزجاج بطبقتين :

Internal & External Shading and Double Glazing

كل مادة تقف بين الاشعة الشمسية والزجاج تؤدي الى تظليل الزجاج . فاذا كانت المادة لا تسمح للاشعاع الشمسي بالدخول من خلالها فان الشعاع الشمسي لا يمكنه الوصول الى داخل المكان . ولكن الاشعاع الشمسي الغير مباشر سيصل الى كامل السطح المظلل وغير المظلل . اما اذا كانت المادة شفافة فان قسما من الاشعة الشمسية المباشرة سيصل الى داخل المكان المكيف وقيمتها تتعلق بنوع المادة المظللة .

مما سبق ينتج ان هدف التظليل هو عرقلة دخول الطاقة الشمسية الى المكان المكيف . وان المادة المظللة تمتص وتعكس القسم الاكبر من الحرارة الشمسية التي تسقط عليها وتسمح لقسم ضئيل من النفوذ خلالها . ان فاعلية التظليل الخارجي اعلى بكثير من فاعلية التظليل الداخلي وذلك لأن كل الطاقة الشمسية المنعكسة تبقى خارج المكان المكيف بينما في

التظليل الداخلي فان الطاقة الشمسية الممتصة تنتشر داخل المكان المكيف وينعكس جزء بسيط منها الى خارج المكان المكيف كما في الشكل



الربح الحراري لداخل المكان

$$q = (0,4 \cdot 0,15\, I_\Sigma) + (0,12 \cdot 0,77\, I_\Sigma) + (0,08 \cdot 0,51 \cdot 0,77\, I_\Sigma) + (0,4 \cdot 0,15 \cdot 0,51 \cdot 0,77\, I_\Sigma) = 0,49\, I_\Sigma$$

يستعمل في البلاد الحارة والقارية التظليل الخارجي ، وان استعماله ضروري في تلك البلاد ويعطي نتائج ممتازة . اما في البلاد الباردة فان استعماله غير ضروري جدا ويفضل استعمال التظليل الداخلي . ويمكن ايضا استعمال التظليل الداخلي والتظليل الخارجي كما هي الحال

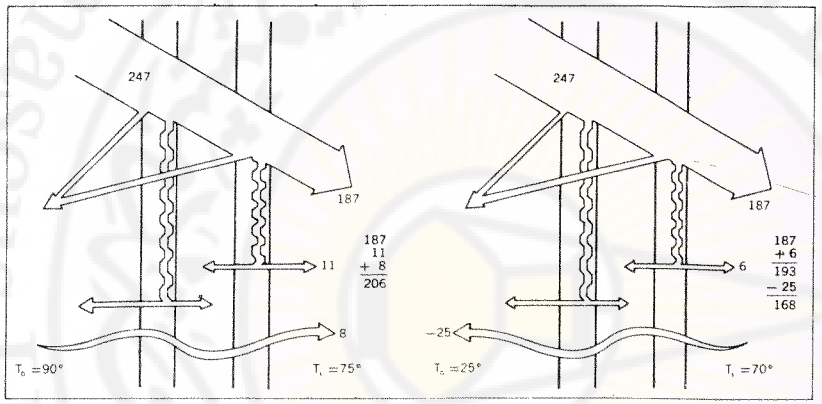
في بلادنـــا حيث يعطي ذلك نتائج ممتازة جدا في فصل الصيف .

ان استعمال التظليل الداخلي وخاصـة بنموذج ســـــتائر Venetian Blinds يعطي نتائج جيدة وخاصة اذا كان لونه ابيـــــض المنيوم وسطحه املس تماما بحيث يمكنه ان يعكس اشعة الشمس الى الخارج ، وفي الحالة العادية فان هذا التظليل يسمح لنسبة 53% من الطاقـــــة الشمسية من النفوذ الى المكان المكيف . ان هذه الستائر تكون ذات نفـــع كبير اذا وضعت بين طبقتين من الزجاج حيث ان ذلك ينقص من الطاقـــة المنقولة لغايـــة 15% وبذلك تساعد على تخفيض الحمل التبريدي لآلات التكييف كما انها تخفف من شدة الضجيج اذا كانت المسافة بين لوحي الزجاج 10 cm . كما انه يساعد على حفظ الرطوبة النسبية داخل المكان المكيف. هذا ويفضـــل وجود تهوية بسيطة بين لوحي الزجاج .

ان الجدول التالي يبين بعض المواصـــفات الحرارية لبعض انواع الزجـــــاج .

نوع الزجاج	نفوذ الضوء	نفوذ الحرارة			نفوذ الحرارة	عامل التظليل		
		%R	% A	%T	الكلي %	الاشعاعي	الحملي	الكلي
زجاج عادي 4mm	87	8	8	84	87	0,96	0,04	1,00
زجاج عادي + تظليل داخلي	--	45	44	11	47	0,12	0,41	0,53
زجاج مزدوج مع تظليل داخلي	--	38	--	--	48	0,12	0,35	0,55
زجاج مزدوج مع تظليل بينهما	--	42	50	5	25	0,08	0,17	0,29

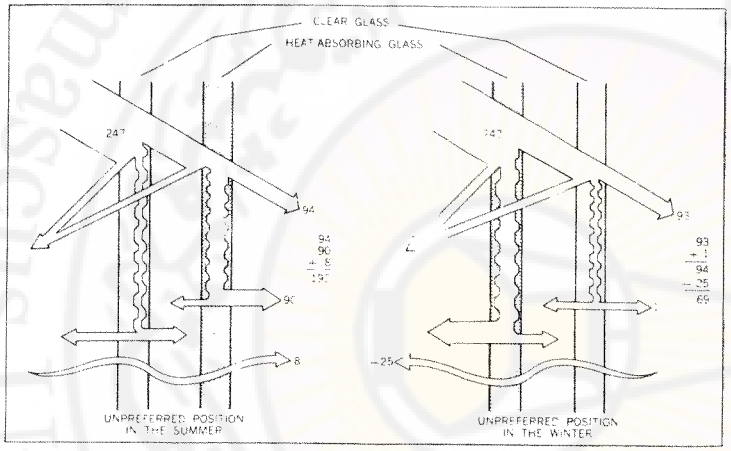
كما ان الاشكال التالية تبين الربح الحراري للمكان عند وجود طبقتين من الزجاج كل طبقة منهما معالجة حراريا بشكل تختلف عن الطبقة الاخرى، مع الاخذ بعين الاعتبار ان الربح الحراري في فصل الشتاء عامل مساعد وفي فصل الصيف عامل معاكس.



Solar heat gain through clear glass, double glazing.

الربـــح الحرارى من خـــلال زجـــاج ابيض مؤلف من طبقتين

SC = 1 Reflectance 0,08

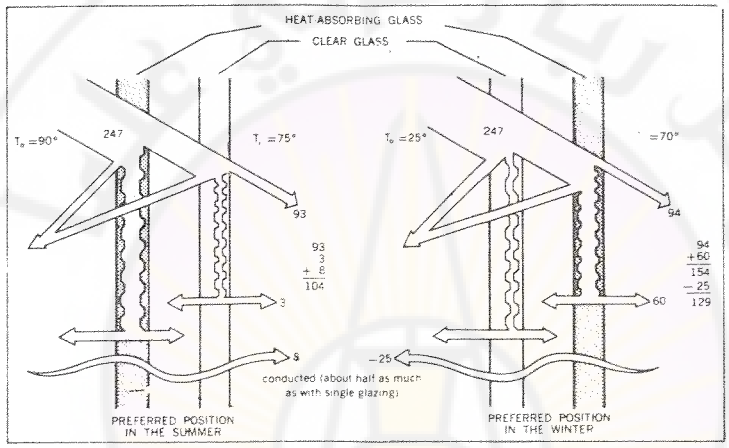


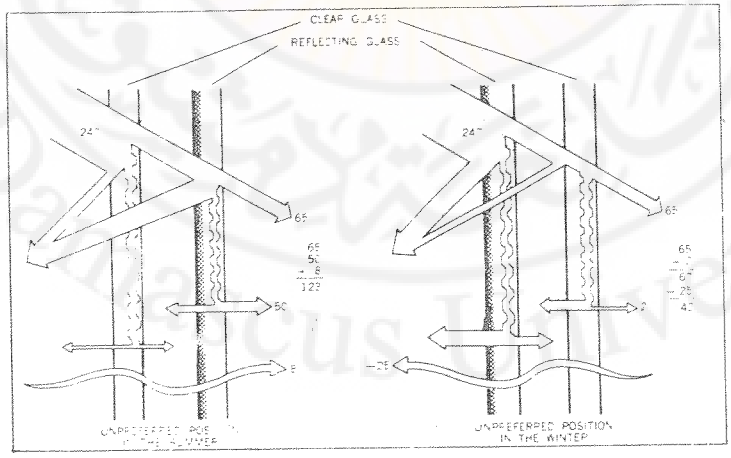
الربح الحـــرارى خلال طبقتين من زجاج ماص للحرارة وزجاج ابيـض

" " " " من زجاج ابيض وزجاج ماص للحـرارة

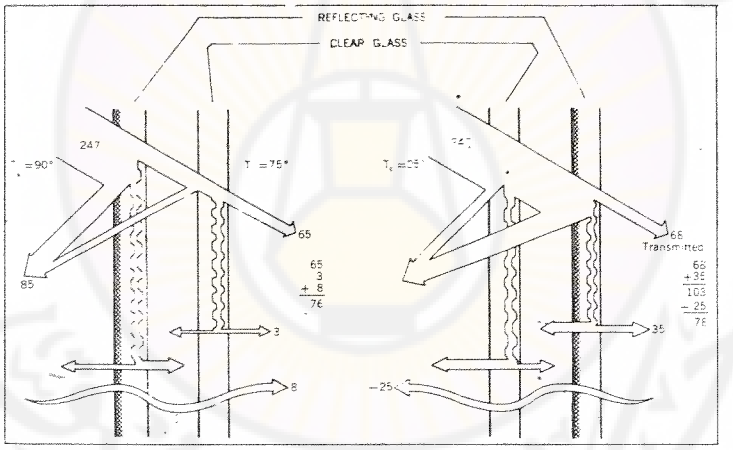
SC for heat absorbing glass = 0,5

SC for glass = 1 reflectance = 0,08





Solar heat gain through reflecting glass. double glazing.

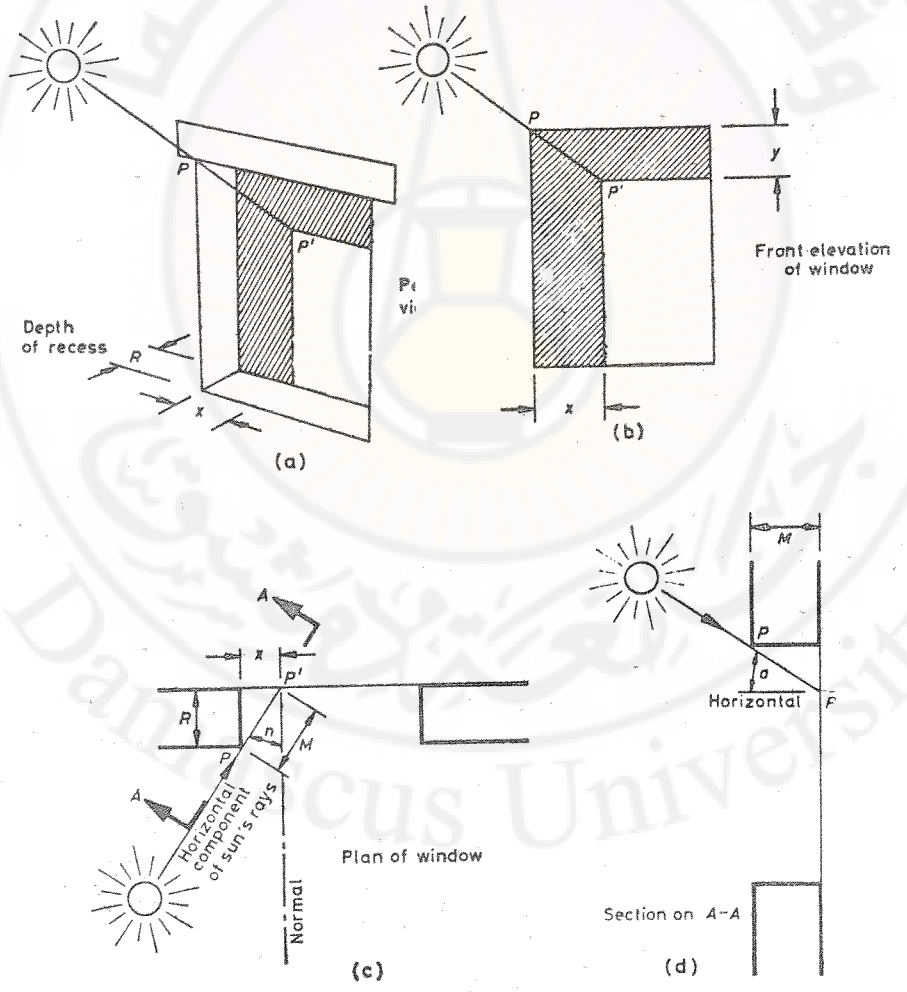


Solar heat gain through reflecting glass, double glazing.

الربح الحرارى من خلال طبقتين من الزجاج عاكس للحرارة وعـــادى

" " " " " " " " عادى وعاكس للحـــرارة

ان الشكل التالي يبين نافذة بعيدة عن السطح الخارجـــــي للجدار بمقدار R .



ان الاشعة الشمسية التي تمس السطح الخارجي للجدار في النقطة P تشكل النقطة P' على سطح الزجاج البعيد عن السطح الخارجي بمقدار R . من معرفة المسافة X والمسافة Y يمكننا معرفة مساحة سطح الزجاج المظللة .

$$X = R \, tg \, \gamma$$

$$Y = M \, tg \, h = R . sec \, \gamma . tg \, h$$

مثال : احسب بواسطة المعادلتين السابقتين القسم المظلل من نافذة زجاجية تبعد بمقدار $50\ mm$ عن السطح الخارجي للجدار علما بأن ارتفاع الشمس $43^\circ 30'$

سمت الشمس 66° (من الغرب الى الجنوب)

توجيه النافذة facing جنوب ـ شرق

ارتفاع النافذة $2{,}75\ m$

عرض النافذة $3\ m$

الحل :

ان الزاوية γ تساوى

$$\gamma = 66^\circ - 45^\circ = 21^\circ$$

$$X = 50 \, tg \, 21 = 50 \times 0{,}384$$

$$= 19 \ mm$$

$$Y = 50 \, tg \, 43^\circ 30' \ sec \, 21$$

$$= 50 \times 0{,}949 \times 1{,}071$$

$$= 51 \ mm$$

المساحـــة المضـــاءة بالشـــمس

$$Sunlit\ Area = (2750 - Y) \times (3000 - X)$$

$$= 2699 \times 2981 = 8,05\ m^2$$

المساحـــة الكليـــة للنافـــذة

$$Total\ Area = 2,75 \times 3 = 8,25\ m^2$$

المســـاحة المظللـــــــة

$$Shaded\ Area = 8,25 - 8,05 = 0,2\ m^2$$

ان هذه القيمـة تزداد بازدياد عمق النافذة عن الجدار .

مثـــــال :

باستعمال المعلومات السابقة احسب عمق النافذة الذى يجعل النافذة مظللـة كليا .

الحـــــل :

لقد وجدنا سابقا انه عند ما يكون عمق النافـــــــــذة 50 mm فان $X = 19\ mm$ وان $Y = 51\ mm$ اى ان هاتين القيمتيـــــن متناسبتان مع عمق النافذة وان Y هي اكبر من X من اجل الارتفـــاع المعتبر والسمت وتوجيه الجدار .

لكي تصبح النافذة مظللة كليا فان المعادلة التالية يجـــب ان تتحقق

$$2,75 = R\,tg\ 43^\circ 30' \cdot \sec 21^\circ$$

$$R = \frac{2,75}{0,949 \times 1,071} = 2,71\ m$$

مع اختلاف الوقت الشمسي واختلاف توجيه النافذة فانها ستتأثر بالاشـــعاع

الشـــمســـي .

٧ ـ ٣ ـ ٣ حساب الربح الحرارى من الزجاج بطريقة ASHRAE

ان طريقة ASHRAE المشروحة في كتاب ســـــنة 1972 لحساب الربح الحرارى من السطوح التي تسمح بنفوذ الاشعة الحرارية مـــن خلالها تعتمد على المعادلة التاليـــة

$$q_g = SHGF \cdot SC + U_g (t_o - t_i) \quad W/m^2$$

حيث SHGF عامل الربح الحرارى الشمسي ونجده من جداول ASHRAE من اجل زجاج عادى سماكته 5 mm ويأخذ بعين الاعتبـــار خط العرض وشهر التصميم وساعة التصميم الشمسية وتوجيهـــة الزجاج وعامل الانعكاس الارضي 0,2 .

$$SC = \frac{\text{Solar Heat Gain of Fenestration}}{\text{Solar Heat Gain of Double Strength Glass}}$$

SC هو عامل التظليل ومدون في جداول خاصة ، وقيمته تأخـــذ بعين الاعتبار نوع الزجاج المستعمل وسماكته ومواصفاتـــه الحرارية ونوع وشكل التظليل المستعمل . وقد حسبت هـــذه الجداول مع افتراض سكون الهواء داخل المكان المكيـــف ، وسرعة الهواء خارج المكان المكيف مساوية الى 3,5 m/s .

$$Ni = \frac{\alpha i}{\alpha_i + \alpha_o} = \frac{8,29}{8,29 + 247} = 0,267$$

اى ان النسبة

وعند سقوط الاشعة الشمسية بشكل عمودى على الزجاج .

وعند اختلاف الشروط الداخلية والخارجية التصميمية عن الشروط المفروضة يجب اجراء تصحيح لقيمة SC مدون في مخططات مخصصة لذلك .

U_g عامل النفوذ الحرارى للزجاج $[W/m^2 C^\circ]$

t_o درجة حرارة الهواء الخارجية $[C^\circ]$

t_i درجة حرارة الهواء الداخلية $[C^\circ]$

٧ ـ ٤ حساب الربح الحرارى من المصادر الداخلية :

ان الربح الحرارى من المصادر الداخلية الموجودة في المكان المكيف لها تأثير كبير خاصة في صالات المعامل وفي اماكن تجمع الناس مثل المسارح ودور السينما وقاعات المحاضرات وغيرها .

ان الحرارة من المصادر الداخلية تكون ناتجة في اكثر الاحيان من الاشخاص ومن الانارة ومن الاجهزة الداخلية (محركات والات كهربائية) ومن الاجهزة والمواد الحارة (مثل انابيب الماء الساخن او البخار) او من البضائع المخزونة وغيرها .

٧ ـ ٤ ـ ١ الربح الحرارى من الاشخاص:

ان الكمية المتجة من الاشخاص لها تأثير كبير على المواصفات الحرارية للهواء داخل المكان المكيف خاصة في الاماكن التي يتجمع فيها عدد كبير من الاشخاص مثل المسارح ودور السينما وقاعات المحاضرات واماكن الانتظار والمطاعم وغيرها .

يبين الجدول التالي كمية الحرارة المحسوسة وكمية الحرارة

الكامنة المنتجة من رجل طوله 170 cm ووزنه 70 kg بالنسبة الى درجة الحرارة الجافة لهواء المكان المكيف ونوع العمـــل الذى يقوم بـــــه :

نـــــوع العمـــل	مكان العمـــل (مثلا)	درجـــة الحرارة الجافـــة للمكان المكيـــف							
		20		22		24		26	
		S	ℓ	S	ℓ	S	ℓ	S	ℓ
جلوس في حالة الراحة	مسـرح ، سينما	90	25	80	35	75	40	65	50
عمل بسيط اثناء جلوس	مكتب ، مطعـم	100	40	90	50	80	60	70	70
عمل بسيط اثناء وقوف	محلات بيع، مخازن	110	50	100	60	85	75	75	85
عمل خفيـــف	معمل للتســـوية	130	105	115	120	100	135	80	155
عمل متوســـط	صالات رقص ، معامل	140	125	125	140	105	160	90	175
عمل شـــاق	معامل الصناعات الثقيلـــة	190	250	165	295	135	305	105	336

ان القيم المذكورة في الجدول السابق يمكن ان تختلف من بلد الى آخر بشكل بسيط علما بأن القيم المذكورة تخفض بنسبة 15% بالنسبة الى المرأة وبنسبة 25% بالنسبة الى الاولاد .

٧ ـ ٤ ـ ٢ الربح الحرارى من الانارة :

ان كمية الحرارة المنتجة من الاضاءة لها تأثير كبير عندما تكون الاضاءة في اوقات الربح الحرارى الاعظمي وفي الاماكن التي تستوجب اضاءة مستمرة وقوية مثل الاستديوهات التلفزيونية والسينمائية والمسارح وقاعات المحاضرات وغيرها .

ان الربح الحرارى الناتج عن الاضاءة يساوى تالقدرة الكهربائية اللازمة لهذه الانارة مضروبة بعامل يتعلق بوضع مكان الانارة ومكان فتحات دخول الهواء وفتحات خروج الهواء وحسب مايلي :

مكان الانارة وفتحات دخول الهواء وخروجه	عامل الانارة
١ ـ الاضاءة المعلقة في السقف او في الحائط مع وجود فتحات خروج الهواء في الارض	100 %
٢ ـ الاضاءة المعلقة في السقف مع وجود فتحات خروج الهواء في السقف	65 %
٣ ـ وجود فتحات خروج الهواء فوق الاضاءة مباشرة	35 %
٤ ـ فتحات خروج الهواء والانارة تؤلف وحدة متكاملة	15 %

كما ان الجدول التالي يبين الاضاءة الضرورية لبعض الاماكن :

نوع المكان	اضاءة بلمبات W/m^2	اضاءة بفلوريسانت
ستديوهات تلفزيونية	500 ÷ 200	
مراسم ، صناعات يدوية ، الات حاسبة	90 ÷ 45	30 ÷ 15
قاعات اجتماع ، مدارس، محلات ، مكاتب	54 ÷ 27	18 ÷ 9
صالات ، مطاعم	30 ÷ 15	10 ÷ 5
مسارح ، صالات انتظار	15 ÷ 12	5 ÷ 4
كوريدورات	12 ÷ 6	3 ÷ 2

٧ ـ ٤ ـ ٣ الربح الحرارى من الآلات:

ان الانتاج الحرارى لجميع الالات ناتج عن تحول الطاقة الميكانيكية (وكذلك ايضا الطاقة الكهربائية) الى طاقة حرارية .

نميّز ثلاث حالات

١ ـ اذا كان المحرك والآلة المربوطة به موجودين داخل المكان المكيف ، تكون كمية الحرارة المتحررة داخل المكان المكيف

$$Q_s = \frac{Q_a}{\eta_t}$$

ب ـ اذا كان المحرك داخل المكان المكيف والالة المربوطة به موجـــودة في مكان آخر، تكون كمية الحرارة المتحررة داخل هذا المكان

$$Q_s = Q_a \left(\frac{1}{\eta_t} - 1 \right)$$

جـ ـ اذا كان المحرك خارج المكان المكيف وكانت الالة المربوطة بـــــه موجودة داخل المكان المكيف تكون كمية الحرارة المتحررة داخـــل المكان المكيف

$$Q_s = Q_a$$

حيث Q_s الربح الحرارى داخل المكان W

Q_a الاستطاعة على محور الالة المربوطة بالمحرك

η_t المردود الكلي لنقل الحركة ويساوى $\eta_t = \eta_m \cdot \eta_d$

η_m مردود المحـــرك

η_d مردود نقل الحركة من المحرك الى الالة Efficiency of drive

عند الحساب الحقيقي لكمية الحرارة المنتجة من الآلات يجـــب ان نأخذ بعين الاعتبار عاملين آخرين هما

n_1 الذى يبين الى اى حد او قيمة لا تعمل الآلة نتيجة الصيانـــة او الاعطال (اى النسبة بين فرق عدد ساعات العمل النظريـة وعدد ساعات العمل الفعلية وبين عدد ساعات العمل النظرية)

و n_2 الذى يبين النسبة بين فرق كمية الحرارة النظرية التي تبقـــى داخل المكان المكيف وكمية الحرارة الحقيقية وبين الحـــــرارة النظرية، لأن قسما من كمية الحرارة النظرية يمكن ان يخرج من

المكان المكيف نتيجة التبريد او غيره .

ويمكننا اعتبار القيم التالية للعوامل المذكورة سابقا :

للمحركات استطاعة من $1 \div 5$ KW فان $\eta_m = 0,78 \div 0,85$

" " " $5 \div 20$ KW " $\eta_m = 0,85 \div 0,89$

" " اكثر من 20 KW " $\eta_m > 0,89$

عند وصل المحرك بشكل مباشر مع الالة " $\eta_d = 1$

عند وصل المحرك بواسطة قشاط سير مع الالة " $\eta_d = 0,9 \div 0,95$

عند وصل المحرك بواسطة علبة سرعة مع الالة " $\eta_d = 0,85 \div 0,88$

اما العامل n_1 فتتراوح قيمته طبقا لنوع الالة بين $n_1 = 0,9 \div 0,98$ ، والعامل n_2 طبقا لنوع الالة .

٧ ـ ٤ ـ ٤ الحرارة المنتجة من المواد الحارة :

ان كمية الحرارة المنتجة من المواد الحارة داخل المكان المكيف مثل انابيب الماء الساخن وانابيب بخار الماء وآلات التجفيف وغيرها يمكن حسابها من احدى العلاقتين التاليتين

$$Q = U . S (t_2 - t_i)$$

$$Q = \alpha . S (t_1 - t_i)$$

حيث U عامل النفوذ الحراري بـ $W/m^2 . C^\circ$ وقيمته يمكن حسابها

t_2 درجة حرارة المائع المعتبر C°

t_i درجة حرارة الغرفة المكيفة C°

α عامل انتقال الحرارة بالحمل للسطح الخارجي المعتبر

$[W/m^2 C^\circ]$ وقيمته يمكن حسابها

t_1 درجة حرارة السطح المعتبر C°

٧ ـ ٤ ـ ٥ الربح الحرارى من مراوح الهواء :

ان كمية الحرارة المنتجة من عمل المروحة لا يمكن اهمالها ابدا في اجهزة التكييف حيث تؤدى الى رفع درجة حرارة هواء التغذية قبل وبعد المروحة وتحسب هذه الكمية من الحرارة من المعادلة التالية

$$Q = \frac{V \cdot FTP}{\eta}$$

حيث V تدفق هواء التغذية بـ m^3/s

FTP الضغط الكلي للمروحة بـ N/m^2

η المردود الكلي للمروحة

اما مقدار ارتفاع درجة حرارة الهواء قبل وبعد المروحة فتحسب من المعادلات التالية

$$Q = V \cdot \rho \cdot C \cdot \Delta t$$

ومنه

$$\frac{V \cdot FTP}{\eta} = V \cdot \rho \cdot C \cdot \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{FTP}{\eta \cdot \rho \cdot C}$$

فاذا فرضنا ان كثافة الهواء الوسطية تساوى $\rho = 1,2\ kg/m^3$ وان الحرارة النوعية الوسطية للهواء $C = 1026\ J/kg\ C^\circ$

$$\Delta t = \frac{FTP}{\eta \cdot 1231} \quad [C^\circ]$$

فاذا فرضنا ان مردود المروحة (وهو النسبة بين قدرة الهواء Air Power

وبين القدرة المعطاة على محور المروحة (Fan Power) هي 0,80 تصبح المعادلة

$$\Delta t = \frac{FTP}{0,8.1231} = \frac{FTP}{984,8} \; [C^\circ]$$

٧ـ ٤ ـ ٦ الربح الحرارى الناتج عن التهوية الطبيعية :

ان الربح الحرارى الناتج عن التهوية الطبيعية نتيجة الفرق بين درجة حرارة الهواء الخارجي والداخلي لا يمكن اهماله ، خاصة عندما يكون الضغط داخل المكان المكيف اقل من الضغط خارج المكان المكيف (اى اقل من الضغط الجوى الخارجي) علما انه لا ضرورة لأخذه بعين الاعتبار في اساليب التكييف التي يكون فيها الضغط داخل المكان المكيف اكبر من او يساوى الضغط الجوى خارج المكان المكيف (بفرض أن سرعة الهواء الخارجي 0) .

ويحسب الربح الحرارى نتيجة التهوية الطبيعية من العلاقة التالية

$$Q = c \cdot \rho_o \cdot V_o \; (t_o - t_i)$$

حيث V_o تدفق الهواء الخارجي الذى يدخل الى المكان المكيف نتيجة التهوية الطبيعية m^3/s

t_o درجة الحرارة الخارجية C°

t_i درجة حرارة هواء الغرفة C°

اذا لم نستطع تعيين كمية الهواء الناتجة عن التهوية الطبيعية نحسب الربح الحرارى من المعادلة

$$Q = c \cdot \rho_o \cdot (t_o - t_i) \cdot \Sigma (i \cdot \ell) \Delta p^n$$

حيث i عامل التهوية وهي كمية الهواء التي تدخل من شقوق النوافذ والابواب عند ما يكون طول الشق $1\ m$ وعن فرق ضغط $1\ N/m^2$ ومقياسها هو $m^4/N.S$ ونجدها من الجداول

ℓ طول الشق بـ m

Δp فرق الضغط على طرفي الشق N/m^2

n عامل يتعلق بشكل الشق وقيمته تقريبا $n = \frac{2}{3}$

واشير هنا الى ان الربح الحرارى عن التهوية الطبيعية لا يمكن اهماله عند فتح الابواب وعند ازدياد سرعة الهواء الخارجية ٠

٧ ـ ٤ ـ ٧ الضياعات الحرارية نتيجة تبخر الماء :

عند وجود انتاج كبير لبخار الماء داخل المكان المكيف وعند تبخر هذه الكمية بشكل adiabat فانها تحتاج الى كمية من الحرارة تأخذها من المكان المكيف ٠ فعند تبخر $1\ kg$ من الماء خلال ساعة واحدة بدرجة حرارة الغرفة مساوية الى $22\ C^\circ$ تمتص كمية من الحرارة من داخل المكان المكيف تساوى الى

$$\frac{1}{3600} \cdot 2454 \doteq 0,680\ KW = 680\ W$$

ان تبخر كميات كبيرة من الماء يؤدى الى خفض درجة حرارة الهواء عدة درجات خاصة في اماكن التجفيف الزراعية ٠

٨ الحمـل الحرارى والحمل التبريد ى

في هند سة تكييف الهواء علينا ان نفرق ونميز بين اربعـــــة تعاريف متقاربـــــة وهـي :

١ ــ الربح الحرارى للمكان	Space Heating Gain
٢ ــ الحمل التبريد ى للمكان	Space Cooling Load
٣ ــ كمية الحرارة المزالة من المكان	Space Heat Extraction Rate
٤ ــ الحمل التبريد ى للوشيعة	Cooling Coil Load

٨ ــ ١ الربح الحرارى للمكان :

ان الربح الحرارى للمكان في لحظة من اللحظات (الربـــح الآني) هو كمية الحرارة التي تدخل (او تخرج) من المكان في لحظة معينة ومعـروفـة • وتتألف من الربح الحرارى المحسوس والربح الحرارى الكامـن • والذ ى يتألف كما رأينا من الربح الحرارى الخارجي نتيجة نفوذ الا شعـــــة الشمسية خلال النوافذ والربح الحرارى من خلال الجد ران والسقوف الخارجية والد اخلية وغيرهـــا • ضافا اليه الربح الحرارى من المصاد ر الد اخليـــة مثل الا شخاص والانارة والآلات والمواد الحارة ومن التهوية الطبيعية وغيرها •

ان معـرفة الكمية الكلية للربح الحرارى المحسوس وكذ لك معـرفـة الكمية الكلية للربح الحرارى الكامن وكمية الهواء الخارجي ضرورية لانتقـــــاء مواصفات وشيعـة التبريد وذ لك للحفاظ على د رجة حرارة معينة ورطوبة نسبيـــة

معينة داخل المكان المكيف .

وكما هو معروف فان وظيفة وشيعة التبريد هي ازالة الحمل الحرارى المحسوس بتخفيض درجة حرارة الهواء المار من خلالها ، وكذلك ازالة الحمل الحرارى الكامن وذلك بتكثيف كمية من بخار الماء للمحافظة على رطوبة نسبية معينة داخل المكان المكيف .

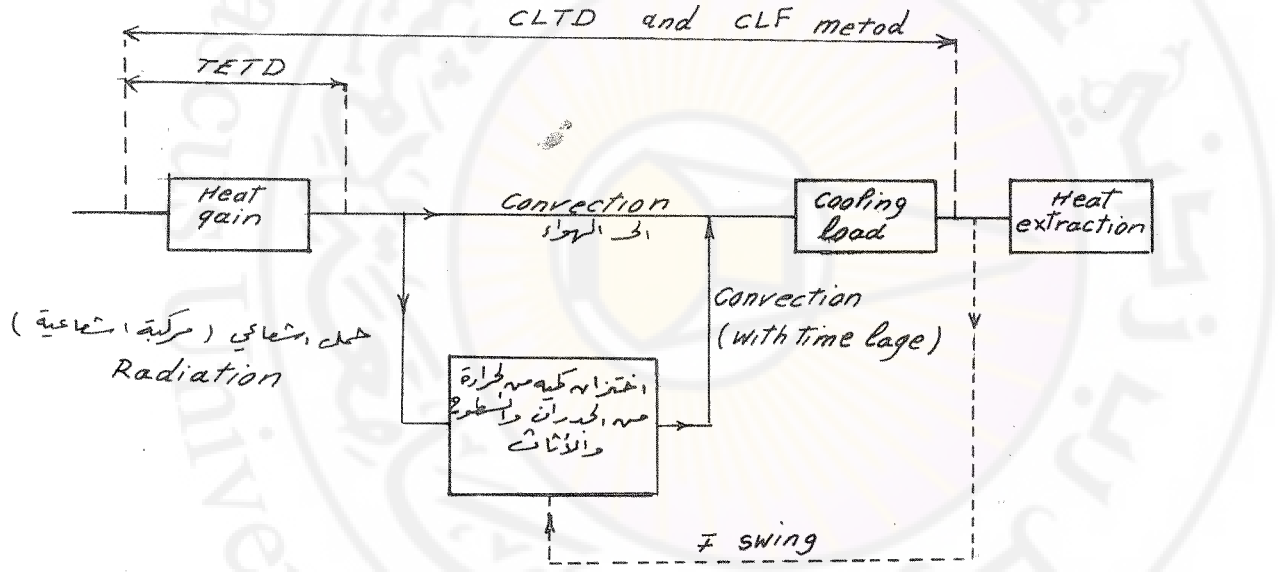
ان كل وشيعة تبريد لها حمل حرارى محسوس اعظمي وحمل حرارى كامن اعظمي لا يمكنها تخطّيه كما سنرى لاحقا .

٨ ـ ٢ الحمل التبريدى للمكان :

ان الحمل التبريدى للمكان في لحظة من اللحظات (حمل التبريد الآني) هو كمية وقيمة الحرارة المحسوسة والكامنة الواجب طردها من المكان المكيف وذلك للحفاظ على درجة حرارة ثابتة ورطوبة نسبية ثابتة داخل المكان المكيف .

ويجب ملاحظة ان مجموع الربح الحرارى الآتي الى المكان المكيف في لحظة من اللحظات ليس من الضرورة ان يساوى الى حمل التبريد لذلك المكان في نفس اللحظة والذى تحسب طبقا له وشيعة التبريد واجهزة التبريد بعد اضافة حمل الهواء الخارجي . وذلك لأن الربح الحرارى الى المكان نتيجة الاشعاع الشمسي ونتيجة الحمل يمتص قسما منه الجدران والسطوح ومحتويات المكان المكيف ولا يظهر تأثيرها على ارتفاع درجة حرارة الغرفة الا بعد فترة من الزمن ، اى انه بعد ارتفاع درجة حرارة الجدران والسطوح ومحتويات المكان المكيف الى درجة حرارة اعلى من درجة حرارة الهواء الداخلي

فان بعضا من كمية الحرارة المختزنـــــة في هذه المواد تنتقل بالحمل من هذه المواد الى الهواء المحيط ٠
والشـــكل التالـــي يوضـــح ذلك :



٨ ـ ٣ كمية الحرارة المزالـــة من المكان :

وهي كمية الحرارة المطرودة (المزالة) من المكان المكيـــف وتساوى الى الحمل التبريدى فقط عند الحفاظ على درجة حرارة ثابتة داخل المكان المكيف والتي تحصل نادرا . وفي اكثر الاحيان فان نظام المراقبـــة والتحكم الموصول مع آلات التبريد يسبب في تذبذب swing في درجـــة حرارة الغرفـــة .

٨ ـ ٤ حمل وشيعة التبريد :

ان جمل وشيعة التبريد هو كمية الطاقة المزالة removed في وشيعة التبريد التي تخدم غرفة واحدة او عدة غرف مكيفة عند وجود تكييـف مركزى .

وكمية هذه الطاقة تساوى الى مجموع الحمل التبريدى الآنـــي للامكنـــة التي تخدم بواسطة الوشيعة واى حمل اضافي مفروض على الوشيعـــة من المصادر الخارجية مثل الحمل الحرارى المحسوس والكامن للهـــــواء الخارجي .

٩ حساب الحمل التبريدى بطريقة ASHRAE 1972

هناك فرق كما قلنا بين الربح الحرارى الآني للغرفة والنذى حسبناه سابقا وبين حمل التبريد الآني الذى يجب حساب استطاعة آلات التبريد طبقا له، وذلك لأن بعض مصادر الربح الحرارى تنقسم الى مركبة حملية تظهر نتائجها مباشرة عند دخولها الى الغرفة المكيفة ومركبة اشعاعية تظهر نتائجها بعد فترة معينة من الزمن .

لقد تبين ان حساب آلات التبريد طبقا للحمل الحرارى كان اكثر من المطلوب لهذا فعند معرفة الربح الحرارى من خلال الجدران والسقوف ومن خلال النوافذ ومن المصادر الحرارية الداخلية ومن التهوية نقسم هذا الحمل الى حرارة اشعاعية والى حرارة حملية وذلك طبقا الى الجدول التالي :

العنصر	R%	الحرارة الاشعاعية	الحرارة الحملية
جدران وسقوف		60	40
زجاج بدون ستائر		100	0
زجاج مع ستائر		58	42
مصابيح عادية		80	20
" فلوريسانت		50	50
اشخاص		40	20
تهوية طبيعية		—	100
آلات واجهزة اخرى		80 ÷ 20	20 ÷ 80

ثم نحسب حمل التبريد الآني بالنسبة الى الجدران والسقوف من العلاقة التالية :

$$Q_{cooling} = A.U.\Delta te\ (L\%) + A.U\ \Delta teavr\ (R\%)$$

حيث Δte هوالفرق الكلي لدرجة الحرارة المعادلة للجدار او السقف عند ساعة وشهر التصميم وغيرها من المواصفات وحسبما عيّنت سابقا

$L\%$ هو الحرارة الحملية طبقا للجدول السابق وتساوى 40%

$\Delta teavr$ هو الوسط الحسابي لعدة قراءات للفرق الكلي لدرجة الحرارة المعادلة بحيث أن هذه القراءات يجب ان تسبق وتشمل ساعة التصميم وعدد القراءات متوقف على السعة الحرارية للجدار . فللجدار قليل السماكة توءخذ ثلاث ساعات ، اى عند ما تكون $D < 1,5$

وللجدار متوسط السماكة توءخذ خمس ساعات اى عند ما تكون $1,5 < D < 15$

وللجدار السميك توءخذ سبع ساعات، اى عند ما تكون $D > 15$

اما بالنسبة الى حمل التبريد الآني بالنسبة الى النوافذ فيحسب من العلاقة التالية

$$Q_{q\,cooling} = [(SHGF.L\% + SHGF_{avr}\ R\%)SC + Ug(t_o - t_r)]A$$

حيث $L\%$ هي الحرارة الحملية وقيمتها كما في الجدول السابق مساوية الى 0 للزجاج بدون ستائر و 42% للزجاج بستائر

$SH6F_{avr}$ هو المتوسط الحسابي الى قيمة $SHGF$ خلال عدة ساعات

من النهار وتؤخذ مثل المتوسط الحسابي الى Δt_{avr} للجدران .

بعد تعويض القيم المذكورة يصبح الحمل التبريدى الناتج عن الزجاج بالشكل التالي

للزجاج بدون ستائر

$$Qg\,cooling = A[SHGF.SC + Ug.(t_o - t_r)]$$

للزجاج مع ستائر

$$Qg\,cooling = A[CSHGF.42\% + SHGF_{avr}.58\%) + Ug(t_o - t_r)]$$

اما بالنسبة الى الانارة العادية وبواسطة فلوريسانت فيكون حمل التبريد الآني مساويا الى الربح الحرارى الكلي لها وكذلك فان حمل التبريد الآني بالنسبة الى التهوية الطبيعية والى الآلات والاجهزة الموجودة داخل المكان المكيف . اما بالنسبة الى الاشخاص فان حمل التبريد الآني يكون مساويا الى 60% من الربح الحرارى للاشخاص .

١٠ حساب الحمل التبريد ى بطريقة فرق د رجة الحرارة للحمـــــــل التبريـــد ى C L T D

ASHRAE 1977

ان الطريقة المشروحة في ASHRAE 1972 تعتمد كمـــــا رأينا على حساب الربح الحرارى للمكان المراد تكييفه ثم تحويل هذا الربـــح الحرارى الى حمل تبريد ى . اما الطريقة الجديد ة المشروحة فـي ASHRAE 1977 فانها تعتمد على حساب الحمل التبريد ى مباشرة ويمكن تلخيصهـــا كما يلـــي :

يتم حساب الحمل التبريد ى الناتج من السطوح التي لا تسـمح بنفوذ الا شعة الشمسية من المعـادلـــة

$$Q = A . U . CLTD$$

حيث CLTD موجود ة في جد اول من اجل الجد ران ومن اجل السقوف وقيمتها تأخذ بعين الاعتبار ساعة التصميم الشمسية والكتلة النوعية للجد ار وعامـــــل النفوذ الحرارى له وتوجيه الجد ار وطريقة صنعه ، كما ان الجد ول محســـوب عند خط عرض 40° وعند ما تكون د رجة الحرارة الد اخلية (78F°) 25,6C° ومد ى د رجات الحرارة الخارجية اليوميـــــة (21F°) 11,7C°

وفي حال اختلاف المواصفات المحسوبة طبقا اليها هـــــذه الجد اول عن المواصفات التصميمية فانه يجب اجراء تصليحات على قيمة CLTD

حسب التعليمات المذكورة في هذه الجداول . كما يتم حساب الحمـــــــل التبريدى الناتج عن السطوح التي تسمح بنفوذ الاشعة الشمسية من العلاقـة

$$Q_g = A.SHGF.SC.CLF + A.U.CLTD$$

حيث SHGF عامل الربح الحرارى الشمسي وقيمته مدونة في جداول من اجـل خطوط عرض من $0 - 60^\circ$ خلال اشهر السنة وتوجيه السطح

SC عامل التظليـــل للزجـــاج

CLF عامل الحمل التبريدى ونجد قيمته من الجداول بالنسبة الـــى الوقت الشمسي ونوع التظليل ولونه وتوجيه الزجاج

CLTD فرق درجة الحرارة للحمل التبريدى بالحمل من الزجاج ونجدها في جداول طبقا الى ساعة التصميم

اما الحمل التبريدى من المصادر الاخرى فنحصل عليه بضـــرب الربح الحرارى بـ CLF اى عامل الحمل التبريدى المدونة قيمته بالجـــداول وبالنسبة لمختلف انواع الربح الحرارى المختلفة والمذكورة سابقا .

١١ حساب اكبر ربح حرارى او حمل تبريـــد ى وتحـــديد شـــهر وســـاعة التصميـم

يتم حساب اكبر ربح حرارى او حمل تبريد ى للبناء والناتـــج عن الحمل الحرارى من المصاد ر الد اخلية والمصاد ر الخارجية وذ لك بحســاب هذ ا الحمل خلال اشهر فصل الصيف وهي حزيران ، تموز ، آب ، ايلـــول وخلال عد ة ساعات من النهار ، ثم وبالمقارنة واعتماد اكبر ربح حرارى يتـــم طبقا له حساب اجهزة التكييف وتحد يد ساعة وشهر التصميم ٠

فاذ ا فرضنا ان الاحمال الحرارية الناتجة عن المصاد ر الد اخلية لا تتغير مع تغير الزمن فيمكننا حساب الاحمال الحرارية الخارجية خـــلال عد ة اشهر وخلال ساعات النهار كما يلي :

T ــ نحسب الربح الحرارى من خلال الجد ران ومن السطوح الخارجيـــة من العلاقـــة :

$$Q_w = A_w \cdot U_w \cdot \Delta te$$

او نحسب الحمـــل التبريـــد ى من العلاقـــة :

$$Q_w = A_w \cdot U_w \cdot CLTD$$

ب ــ نحسب الربح الحرارى من خلال النوافذ الخارجية من العلاقة :

$$Q_q = A_q \cdot SHGF \cdot SC + A_q \cdot U_q \ (t_o - t_i)$$

او الحمل التبريد ى مـــن العلاقـــة :

$$Q_q = A_q \cdot SHGF \cdot SC \cdot CLF + A_q \cdot U_q \cdot CLTD$$

جـ ـ نحسب الربح الحرارى الناتج عن التهمة الطبيعية والتهوية القسرية من العلاقة

$$Q_V = V.\rho.C\ (t_o - t_i)$$

بجمع المركبات الحرارية السابقة خلال الساعات المعتبرة ، واعتماد اعلى قيمة يتحدد معنا شهر وساعة التصميم ، وباضافة الاحمال الحرارية الاخرى والتي فرضناها بأنها لا تتغير مع تغير الزمن ينتج معنا اكبر ربح حرارى للبناء .

١٢ الهـــــواء الرطـــــب

١٢ ـ ١ الرموز التي تحدد رطوبة الهواء :

أ ـ نسبة الرطوبـــة Humidity Ratio : وهي النسبة بين كتلة بخار الماء الى كتلة الهواء الجاف لعينة من الهواء الرطب :

$$W = \frac{m_w}{m_a} = \frac{M_w}{M_a}$$

حيث m_w تدفق بخار الماء بـ [Kg/s]

m_a تدفق الهواء الجاف بـ [Kg/s]

M_w كمية بخار الماء في عينة من الهواء الرطب [Kg]

M_a كمية الهواء الجاف في نفس العينة السابقة [Kg]

ب ـ الرطوبة النوعية Specific Humidity : وهي النسبة بين كتلة بخار الماء الى الكتلة الكلية للهواء الرطب في عينة معتبرة من الهواء الرطب

$$q = \frac{M_w}{M_w + M_a} = \frac{W}{1+W}$$

جـ ـ الرطوبة المطلقة Absolute Humidity (او كثافة بخار الماء): وهي النسبة بين كتلة بخار الماء الى الحجم الكلي لعينة من الهواء الرطب

$$d_v = \frac{m_w}{V}$$

د ـ كثافة الهواء الرطب Density : وهي النسبة بين الكتلة الكلية للهواء الرطب الى الحجم الكلي :

$$\rho = \frac{Ma + Mw}{V} = \frac{1}{\vartheta}(1 + W)$$

حيث ϑ حجم الهواء الرطب بالنسبة لواحد كيلو غرام من الهواء الجاف كما سنرى لاحقا .

هـ ـ نسبة الرطوبة المشبعة Saturation Humidity Ratio : وهي نسبة الرطوبة للهواء الرطب المشبع ببخار الماء عند درجة الحرارة t والضغط ρ ونرمز لها بـ W_S .

و ـ درجة الاشباع Degree of Saturation : وهي النسبة بين نسبة الرطوبة W للهواء الرطب الى نسبة الرطوبة المشبعة W_S عند نفس درجة الحرارة والضغط

$$\mu = \frac{W}{W_S}\Big|_{t,\rho}$$

ز ـ الرطوبة النسبية Relative Humidity : وهي النسبة بين اجزاء المولات لبخار الماء x_W في عينة من الهواء الرطب الى اجزاء المولات x_{WS} الى عينة الهواء الرطب المشبع عند نفس درجة الحرارة والضغط

$$\phi = \frac{x_W}{x_{WS}}\Big|_{t,\rho}$$

او يتعريف آخر هي النسبة بين الضغط الجزئي لبخار الماء في الهواء الرطب عند درجة حرارة معينة t الى الضغط الجزئي لبخار الماء المشبع عند نفس درجة الحرارة t .

ملاحظـــة : ان اجزاء المولات x_i mole fraction الـــى اى عنصر موجود في خليط يساوى الى عدد المولات n_i لهذا العنصـــــر مقسوما الى العدد الكلي للمولات n لجميع العناصر المشكلة لهـــــذا الخليـــط .

ان اجزاء المولات mole fraction للهواء الجـاف x_a ، ولبخار الماء x_w ، ولبخار الماء المشبع x_{ws}

من التعريف ينتج معنـــــا ان :

$$\frac{n_a}{n} + \frac{n_w}{n} = \frac{n}{n} = 1$$

$$x_a + x_w = 1$$

ومنـــه فان الرطوبة النسبية يمكن التعبيـــر عنها بالمعادلة

$$\phi = \frac{\mu}{1-(1-\mu)\,x_{ws}}$$

ملاحظـــة ٢ : ان المول عبارة عن وحدة تعبر عن كمية المادة ، ومفهـــوم المول ينطبق على الجزئيات والذرات والشوارد والالكترونات . فالجـــزىء الغرامي او المول هو كمية المادة التي يساوى كتلتها بالغرامات عدديـــا ، الكتلة الجزيئـــية لهذه المادة ،

كتلة واحد مول من جزيئات الاوكسجين O_2 هي 32 غرام
كتلة واحد مول من جزيئات الهيدروجين H_2 هي 2,16 غرام
كتلة واحد مول من ذرات الاوكسـجين O هي 16 غرام
كتلة واحد مول من ذرات الهيدروجين H هي 1,08 غرام

حـ ـ درجة حرارة نقطة الندى Dew Point Temperature

وهي درجة حرارة الهواء الرطب التي يبدأ عندها بخار الماء الموجود فيه بالتكاثف ، عند تبريد هذا الهواء بشكل isobar مع المحافظة على نسبة رطوبته ثابتة لا تتغير .

طـ ـ درجة الحرارة الرطبة الثيرمودينامكية Thermodynamic Wet-Bulb Temperature t^*

وهي درجة الحرارة ، حيث الماء (بحالته السائلة او الصلبة) وبواسطة التبخر الى الهواء الرطب عند درجة حرارة جافة t ونسبة رطوبة W يؤدي بالهواء الى حالة الاشباع بشكل ادياباتي عند نفس درجة الحرارة t^* مع ثبات الضغط P . ان درجة الحرارة هذه تعين حالة الهواء بشكل صحيح مثل الضغط ودرجة الحرارة والحجم النوعي .

ي ـ درجة الحرارة الرطبة Wet-Bulb Temperature :

وهي درجة الحرارة التي يشير اليها مقياس للحرارة محاط بقماش مبلّل بالماء وعند الحالة التوازنية للمقياس ، وجريان الهواء حوله بشكل قسري بسرعة 4 m/s ومعزول عن انتقال الحرارة بالاشعاع. ان درجة الحرارة الرطبة تختلف عن درجة الحرارة الرطبة الثيرمودينامكية وتقترب من قيمتها ولكنها لا تساويها .

١٢ ـ ٢ الغازات المثالية وعلاقتها بالهواء الرطب :

عند اعتبار الهواء الرطب خليطا من غازات مثالية ، اى من الهواء الجاف ومن بخار الماء ، فان كلا من بخار الماء ومن الهواء الجاف

ينطبق عليه المعادلة العامة للغازات المثالية وقانون دالتون للضغوط الجزئية، اى

$$P.V = M.R.T$$

حيث P ضغط الغاز بـ $[N/m^2]$

V حجم الغاز بـ m^3

M كتلة الغاز بـ Kg

R ثابت الغاز بـ $J/Kg.K^\circ$

T درجة الحرارة المطلقة $^\circ K$

وطبقا لقانون افوكادرو فان جميع الغازات عند نفس درجة الحرارة والضغط تحتوى على عدد متساو من الجزئيات molecules. فاذا اعتبرنا وحدة الكتل واحد كيلو مول فان كتلة واحد كيلو مول تساوى عدديا الى الكتلة الجزئية للغاز وتصبح المعادلة العامة للغازات

$$P.V_m = R_m.T$$

حيث V_m حجم واحد كيلو مول بـ m^3 وقيمته متساوية بالنسبة لجميع الغازات عند نفس الضغط P ودرجة الحرارة T . فاذا اعتبرنا الضغط $P = 101325\ N/m^2$ ودرجة الحرارة $T = 273,15\ ^\circ K$ فان قيمة V_m تساوى $22,4145\ m^3/kmol$ ومنه

$$R_m = \frac{P.V_m}{T} = \frac{101325 \times 22,4145}{273,15}$$

$$= 8314,66\ J/K\,mol\,^\circ K$$

حيث R_m هو ثابت الغازات العام وقيمته متساوية بالنسبة لجميع الغازات.

من المعادلة العامة للغازات المثالية ومن معرفة قيمة ثابت الغازات العام يمكننا معرفة ثابت اى غاز بتقسيم طرفي المعادلة على الكتلة الجزئية لهذا الغاز

$$\frac{P.Vm}{Mm} = \frac{Rm.T}{Mm}$$

$$P.V = \frac{Rm}{Mm}.T = R.T$$

ومنه فان ثابت الغاز للهواء الجاف

$$Ra = \frac{8314,66}{28,97} = 287\ J/Kg\ K$$

وثابت الغاز لبخار الماء

$$Rw = \frac{8314,66}{18,02} = 461\ J/Kg\ ^{\circ}K$$

قيمة نسبة الرطوبة بالنسبة الى الضغوط الجزئية

يمكننا كتابة المعادلة العامة للغازات المثالية بالنسبة الى الهواء الرطب والهواء الجاف وبخار الماء عند نفس درجة الحرارة والضغط كما يلي :

للهواء الرطب $P.V = M.R.T$

للهواء الجاف $P_a.V = M_a.R_a.T$

لبخار الماء $P_w.V = M_w.R_w.T$

حيث M كتلة الهواء الرطب بـ Kg

M_a كتلة الهواء الجاف بـ Kg

M_w كتلة بخار الماء بـ Kg

R_w ، R_a ، R ثابت الغاز للهواء الرطب وللهواء الجاف ولبخار الماء

T درجة الحرارة المطلقـــة K

من تعريف نســـبة الرطـوبة

$$W = \frac{M_w}{M_a} = \frac{\frac{P_w \cdot V}{R_w \cdot T}}{\frac{P_a \cdot V}{R_a \cdot T}} = \frac{P_w \cdot R_a}{P_a \cdot R_w}$$

$$W = \frac{287}{461} \cdot \frac{P_w}{P_a} = 0,622 \frac{P_w}{P_a}$$

$$W = 0,622 \frac{P_w}{P - P_w}$$

$$W_s = 0,622 \frac{P_{ws}}{P - P_{ws}}$$

الحجـم النوعي للهواء الرطب The Volume of Moist Air

ان الحجم النوعي v للهواء الرطب يعبر عنه بالنسبة الى $1Kg$ من الهواء الجاف ، اى الحجم بـ m^3 لواحد كيلو غرام من الهواء الجـاف مع كتلة بخار الماء المربوطـــة $associated$ معه

$$v = \frac{V}{M_a} = \frac{\frac{M_a \cdot R_a \cdot T}{P_a}}{M_a} = \frac{R_a \cdot T}{P_a}$$

$$v = \frac{R_a \cdot T}{P - P_w} = \frac{287 \cdot T}{P - P_w}$$

١٢ ـ ٣ انتالبـــي الهواء الرطـــب :

ان انتالبي خليط الهواء الجاف وبخار الماء يساوى الى مجموع الانتالبي للهواء الجاف ولبخار الماء ، ومنه فان انتالبي الهواء الرطـــب بالنسبة لواحد كيلو غرام من الهواء الجاف

$$h = h_a + W.h_w \quad KJ/Kg\ dry\ air$$

حيث h_a الانتالبي النوعية للهواء الجاف $KJ/Kg\ dry\ air$

h_w الانتالبي النوعية لبخار المـــاء KJ/Kg

W نسبة الرطـوبة $Kg/Kg\ dry\ air$

ان انتالبي الهواء الجاف يتغير طبقا لدرجة الحرارة ، والقيمة التقريبية الوسطية له في مجال درجات الحرارة من $0 \div 60\ c^\circ$

$$h_a = 1,007t - 0,026$$

وفي مجـــال درجـــات الحـــرارة من $(-10) \div 0$

$$h_a = 1,005t$$

كما ان انتالبي بخار المـاء يمكن تعيينه من المعادلة التقريبية التالية

$$h_w = 2501 + 1,84t$$

ومنـــه فان انتالبي الهـــواء الرطـــب

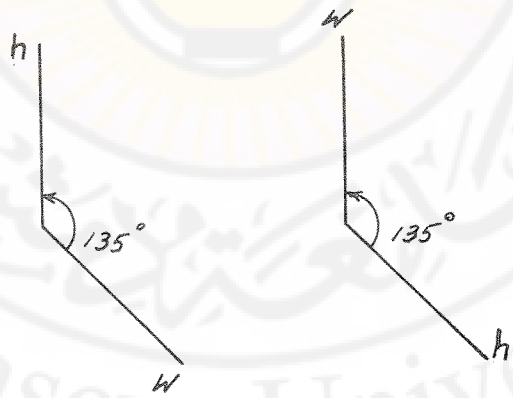
$$h = (1,007t - 0,026) + W(2501 + 1,84t)$$

١٢ ـ ٤ مخططات الهواء الرطب Psychrometric Charts :

لتعيين التحولات التي تحدث للهواء عند ما يكون الضغط ثابتا isobar يستعمل لذلك مخططات تسمى مخططات الهواء الرطب.

ويستعمل في الوقت الحاضر نوعان من هذه المخططات ،الاول هو مخطط Mollier في الاحداثيات h-w بينهما زاوية قدرها 135° والثاني المخطط السايكومترى في الاحداثيات w-h .

ان المخطط الاول يستعمل في اوروبا وفي اوروبا الشرقية اما المخطط الثاني فيستعمل في الولايات المتحدة الامريكية وفي انكلترة . ويختلف هذان المخططان عن بعضهما في توجيه المحاور فقط .



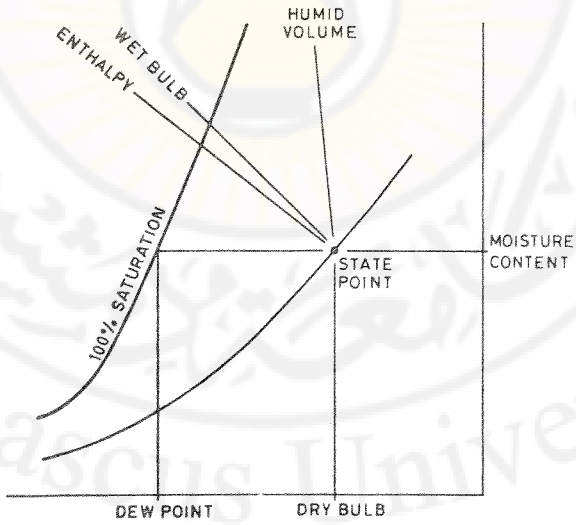
يرسم على مخطط الهواء الرطب الرموز الاخرى التي تحدد حالة الهواء مثل درجة الحرارة الجافة ،ودرجة الحرارة الرطبة ، والرطوبة النسبية ، والحجم النوعي ،بالاضافة الى نسبة الرطوبة والانتالبي .

لرسم هذه المخططات يجب اختيار المقياس α على الخط

الذى تمثل عليه نسبة الرطوبة w والمقياس B على الخط الذى تمثل عليه الانتالبي h بحيث يكون احد الـ isoterm (مثلا 50 او 30 او 0) عموديا على المحور h . هذا ويمكن الرجوع الى التيرمودينامیك لمعرفة كيفية رسم هذه المخططات .

ان المخطط السايكومترى الذى صممه في الابتداء Carrier بالاحداثيات $t - i$ وبعد ذلك اصبح في الاحداثيات $w - h$ فاننا نتوقع له الانتشار اكثر من المخطط الاول ولهذا فاننا سنعمل به اثناء دراستنا .

ان الشكل التالي يبين هذا المخطط



ملاحظة : ان مخطط IHVE رسم عند ضغط 1013,25 milibar حيث الـ isoterm بدرجة 30° يكون افقيا .

Damascus University

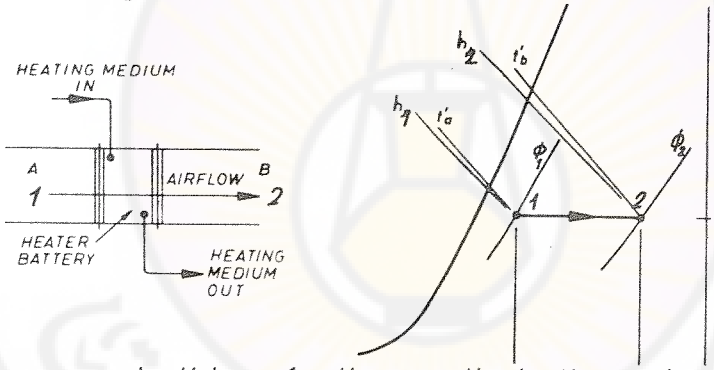
١٢ ـ ٥ عمليات التكييف النموذجية وتمثيلها على المخطط السايكومترى :

Typical Air-Conditioning Processes

١٢ ـ ٥ ـ ١ اعطاء الهواء كمية من الحرارة :

Sensible Heating of Moist Air

ان اعطاء الهواء كمية من الحرارة مع المحافظة على نسبة رطوبته ثابتة • يمثل على المخطط السايكومترى بالشكل التالي :



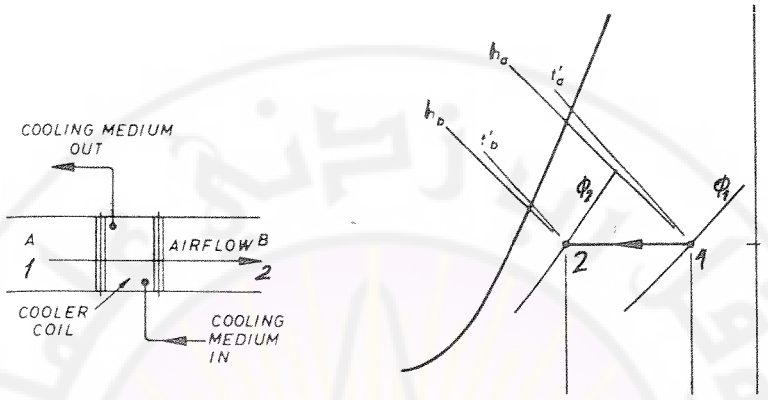
ان كمية الحرارة المحسوسة التي يكتسبها الهواء تحسب من العلاقة

$$q = q_t = q_s = ma\,(h_2 - h_1)$$

$$q = q_t = q_s = V \cdot \rho / c \Big|_{t_1}^{t_2} (t_2 - t_1) = m / c \Big|_{t_1}^{t_2} (t_2 - t_1)$$

١٢ ـ ٥ ـ ٢ تبريد الهواء الرطب Sensible Cooling of Moist Air

ان تبريد الهواء الرطب يعني اخذ كمية من الحرارة من هذا الهواء مع المحافظة على نسبة رطوبته W ثابتة • ان ذلك يمثل على المخطط السايكومترى بالشكل التالي :

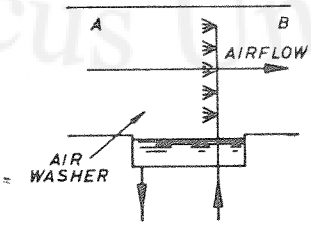


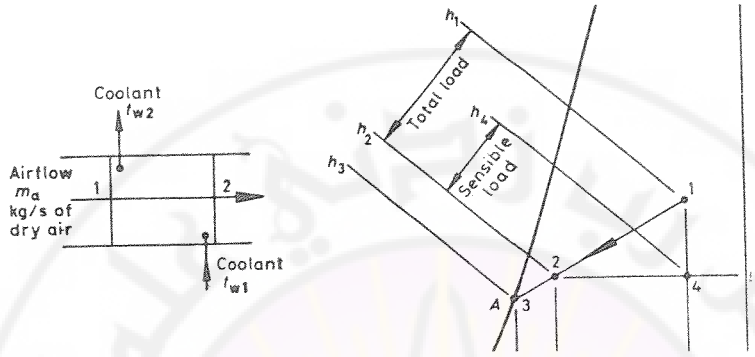
ان كمية الحرارة المحسوسة التي يفقدها الهواء تعطى بالعلاقة

$$q_t = q_s = ma\,(h_1 - h_2)$$

١٢ ـ ٥ ـ ٣ تبريد الهواء مع تخفيض في نسبة رطوبته :
Dehumidification

ان تبريد الهواء الى درجة حرارة اقل من درجة حرارة نقطة الندى لهذا الهواء يتم بتمرير هذا الهواء خلال وشيعة تبريد درجة حرارتها السطحية الوسطية ، اى Mean Coil Surface Temperature او Apparatus Dew Point اقل من درجة حرارة نقطة الندى لهذا الهواء . او امرار هذا الهواء خلال غسالة مـاء Air Washer درجة حرارة الماء لها اقل من درجة حرارة نقطة الندى لهذا الهواء





ان الشكل يبين ذلك مع تمثيله عل المخطط السايكومترى حيث

t_1 د رجة حرارة الهواء الد اخل الى المشع

t_2 د رجة حرارة الهواء الخارج من المشع

tdp د رجة حرارة نقطة الند ى للهواء الد اخل

t_A د رجة حرارة نقطة الند ى لسطح الوشيعة

يمكننا كتابة معاد لة التوازن الحرارى والماد ى بالشكل التالي :

$$m_a . h_1 = m_a . h_2 + q_t + m_w h_{w2}$$

$$m_a . W_1 = m_a W_2 + m_w$$

ومنـــه

$$q_t = m_a [(h_1 - h_2) - (W_1 - W_2) h_{w2}]$$

$$m_w = m_a (W_1 - W_2)$$

من المفيد ان نتكلم عن مرد ود وشيعة التبريد حيث يستعمل بد لا من ذلـــك عامل التلامس Contact Factor او عامل التحويل By-pass Factor حيث

$$CF = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_A} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_A}$$

$$BF = 1 - CF = \frac{W_2 - W_A}{W_1 - W_A} = \frac{h_2 - h_A}{h_1 - h_A}$$ او

ملاحظـــة : يمكن الافتراض من اجل الحسابات التقريبية ان هذه النسب تابعة ايضا الى درجة الحرارة الجافة حيث يمكن التعبير عنها بشـــــكل تقريبي بالشكل التالي :

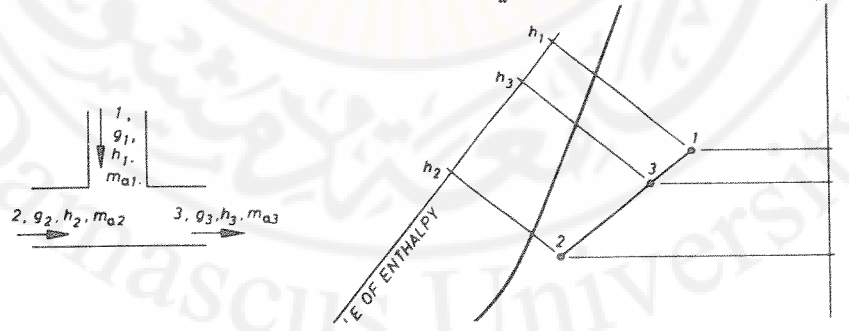
$$CF = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_A}$$

$$BF = \frac{t_2 - t_A}{t_1 - t_A}$$

١٢ ـ ٥ ـ ٤ الخلط الاياباتيـــكي لتياريـــن من الهـــواء الرطـــب

Adiabatic Mixing of Two Streams of Moist Air

ان الخلط الادياباتيكي لتيارين من الهواء يستعمل بشـــكل عام في التكييف . والشكل التالي يبين ذلك



فاذا فرضنا ان الخلط اديباتي فانه ينطبق عليه المعـــادلات التالية

$$m_{a1} \cdot h_1 + m_{a2} \cdot h_2 = m_{a3} \cdot h_3 \quad 1$$

$$m_{a1} + m_{a2} = m_{a3} \qquad 2$$

$$m_{a1} \cdot w_1 + m_{a2} \cdot w_2 = m_{a3} \cdot w_3 \qquad 3$$

من المعادلة (1)

$$m_{a1} \cdot h_1 + m_{a2} \cdot h_2 = (m_{a1} + m_{a2}) \cdot h_3 = m_{a1} \cdot h_3 + m_{a2} \cdot h_3$$

من المعادلة ( )

$$m_{a1} \cdot w_1 + m_{a2} \cdot w_2 = (m_{a1} + m_{a2}) w_3 = m_{a1} w_3 + m_{a2} \cdot w_3$$

$$m_{a1} (h_1 - h_3) = m_{a2} (h_3 - h_2)$$

$$m_{a1} (w_1 - w_3) = m_{a2} (w_3 - w_2)$$

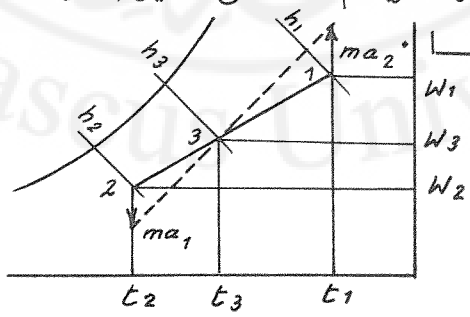
بعد تقسيم المعادلتين نحصل على

$$\frac{h_1 - h_3}{w_1 - w_3} = \frac{h_3 - h_2}{w_3 - w_2}$$

او

$$\frac{h_1 - h_3}{h_3 - h_2} = \frac{w_1 - w_3}{w_3 - w_2} = \frac{m_{a2}}{m_{a1}}$$

طبقا للمخطط السايكومترى فان المحل الهندسي للنقاط الثلاث 1 و 2 و 3 هو مستقيم، اى ان ناتج خلط الهواء 3 يقع على الخط الذى يصل بين النقطتين 1 و 2 ويقسم الخط الى قسمين بنفس النسبة بين كتلتي الهواء الجاف لهما

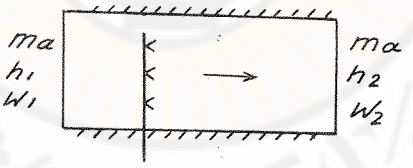


هذا ويمكن عند خلط هواء 1 مع هواء 2 ان يحدث هواء مشبع (ضباب) حيث ان الماء المتكاثف يعلق على الاسطح المجاورة وتكون النتيجة هواء مشبعا . ان هذه الحالة تحدث عند زفير هواء ساخن خارج من الرئتين الى هواء بارد كما يحدث في الايام الباردة من فصل الشتاء .

١٢ـ٥ـ٥ المزج الادياباتي للهواء الرطب مع الماء او البخار المبخوخ (المحقون) :

Adiabatic Mixing of Moist Air with Injected Water or Stream

ان حقن الماء او بخار الماء الى تيار الهواء الرطب لزيادة نسبة الرطوبة لهذا الهواء يبينه الشكل (حيث كل الماء او بخار الماء يتبخر بدون تساقط اى منه على الانبوب) .



فاذا فرضنا ان المزج اديباتيكي وهذا يتحقق عند المحافظة على الشروط التالية

ا ـ ان تكون الانابيب ومستودع الماء معزولة تماما

ب ـ يجب ان يكون الماء المضاف يغطي الفقد نتيجة التبخر بدرجة الحرارة التيرموديناميكية الرطبة

جـ ـ كل الماء المبخوخ يتبخر ولا يوجد اى مبادل حرارى في الانابيب او مستودع الماء

يمكننا كتابة معادلة التوازن الحرارى ومعادلة التوازن المادى

$$m_a \cdot w_1 + m_w \cdot h_w = m_a \cdot h_2$$

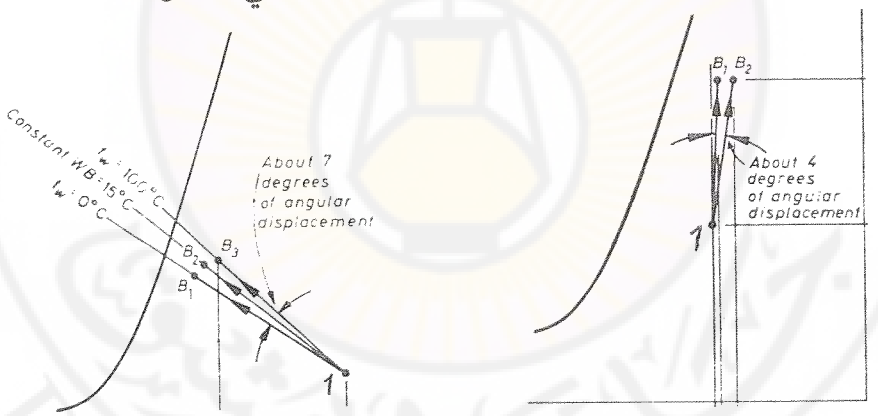
$$m_a \cdot w_1 + m_w = m_a \cdot w_2$$

$$m_a (h_2 - h_1) = m_w \cdot h_w$$

$$m_a (w_2 - w_1) = m_w$$

$$\frac{h_2 - h_1}{w_2 - w_1} = h_w \qquad \frac{\Delta h}{\Delta w} = h_w$$

اى ان نقطة المزيج تقع على خط مستقيم اتجاهه يتحدد بانتالبي الماء الذى يرطب به وابتداوءه هو نقطة الهواء الرطب كما نلاحظ في الشكل



فاذا كانت درجة حرارة الماء مساوية الى 0 وكان انتالبي الهواء محسوبا من درجة الحرارة 0 فان النقطة 2 تقع على الخط $h_w = 0$ واذا كانت درجة حرارة الماء مساوية الى 100 c° فان $h_w = 419$ kJ/kg والزاوية بين الخطين هي تقريبا 7° . اماذا كان بخار الماء هو المبخوخ وكانت درجة حرارته 100 c° (عند ضغط 30 bar) حيث يكون الانتالبي

واذا كان بخار الماء المبخوخ بدرجة حرارة 234C° عند ضغط 30 bar فان الانتالبي له يكون 2803 KJ/Kg steam وان الزاوية بين الخطين هي تقريبا 3° . ان موضع النقطة الاديباتيكية 2 يتوقف على كمية الماء او بخار الماء المبخوخ ويمكن تعيينها من العلاقة

$$W_2 = W_1 + \frac{mw}{ma}$$

١٢ ـ ٦ العوامل المستعملة في المخططات السايكومترية

١٢ ـ ٦ ـ ١ عامل الحرارة المحسوسة Sensible Heat Factor

ان خواص الهواء الحرارية يمكن ان تقسم الى حرارة كامنة وحرارة محسوسة . ان تعريف عامل الحرارة المحسوسة SHF هو النسبة بين الحرارة المحسوسة والحرارة الكلية حيث الحرارة الكلية هي مجموع الحرارة المحسوسة والحرارة الكامنة

$$SHF = \frac{SH}{SH + LH} = \frac{SH}{TH}$$

SHF عامل الحرارة المحسوسة

SH الحرارة المحسوسة

LH الحرارة الكامنة

TH الحرارة الكلية

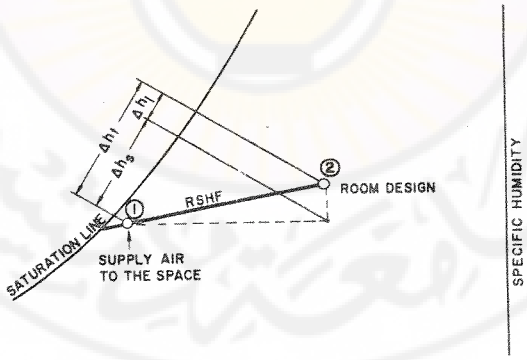
١٢ ـ ٦ ـ ٢ عامل الحرارة المحسوسة للغرفة R.R.L او R.S.H.F

ان عامل الحرارة المحسوسة للغرفة هو النسبة بين الحرارة المحسوسة للغرفة الى مجموع الحرارة المحسوسة للغرفة والحرارة الكامنة لها :

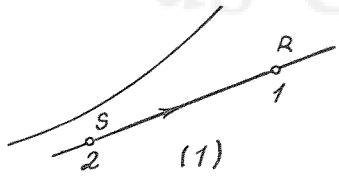
$$RSHF = \frac{RSH}{RSH + RLH} = \frac{RSH}{RTH} = \frac{Qs}{Qs + Qe}$$

ان الهواء المكيف الذى يدخل الى الغرفة (المكان المراد تكييفه) يجب ان تكون له سعة حرارية ليعوض وفي آن واحد عن الربح الناتج عن الحرارة المحسوسة والحرارة الكامنة المتولدة داخل الغرفة. ان الهواء الداخل الى المكان المكيف 2 والهواء داخل المكان المكيف 1 يمكن وصلهما بمستقيم يمثل التدرج السايكومترى الى هواء التغذية داخل المكان المكيف ويسمى عامل الحرارة المحسوسة للغرفة .

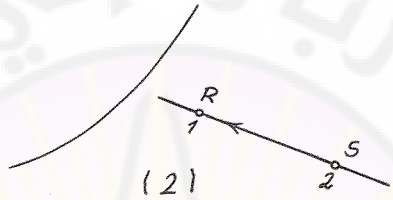
ان ميل هذا المستقيم slope يعبر عن النسبة بين الحمل الحرارى المحسوس والحمل الحرارى الكامن للغرفة ويمثل حالة الهواء الداخل الى المكان المكيف وحتى خروجه .



فاذا كان الربح الحرارى الكامن والربح الحرارى المحسوس موجبين يكون الميل كما في الشكل (1)

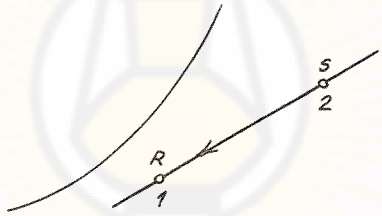


اذا كان الربح الحرارى الكامن موجبا والربح الحرارى المحسوس سالبا كما يحدث عادة في فصل الشتاء فان ميل الخط يكون كما في الشكل (2)



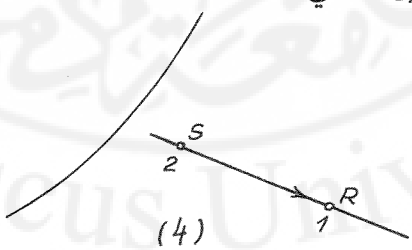
(2)

اذا كان الربح الحرارى الكامن سالبا والربح الحرارى المحسوس سالبا ايضا فان ميل الخط يكون كما في الشكل (3)



(3)

اذا كان الربح الحرارى الكامن سالبا والربح الحرارى المحسوس موجبا فان ميل الخط يكون كما في الشكل (4)



(4)

ان عامل الحرارة المحسوس للغرفة يمكن ان نرسمه على المخطط السايكومترى بدون معرفة مواصفات وحالة هواء التغذية الداخلة الى الغرفة وذلك بمعرفة قيمته ورسم اتجاهه على المخطط السايكومترى ٠

١٢ ـ ٦ ـ ٣ عامل الحرارة المحسوس لجهاز التكييف

Grand Sensible Heat Factor

ان تعريف عامل الحرارة المحسوس لجهاز التكييف هو النسبة بين الحرارة المحسوسة الكلية الى مجموع الحرارة المحسوسة الكلية والحرارة الكامنة الكلية (الحرارة الكلية) والتي تتضمن الحمل الحرارى للهواء الجديد.

$$GSHF = \frac{TSH}{TSH + TLH} = \frac{TSH}{GTH}$$

حيث TSH هو زيادة او نقصان الحرارة المحسوسة الكلية لجهاز التكييف

TLH هو زيادة او نقصان الحرارة الكامنة الكلية لجهاز التكييف

فاذا طبقنا المعادلة السابقة على وشيعة التبريد يكون عامل الحرارة المحسوس لوشيعة التبريد

$$GSHF = \frac{q_s}{q_s + q_l} = \frac{q_s}{q_t}$$

حيث q_s كمية الحرارة المحسوسة المزالة في وشيعة تبريد الهواء

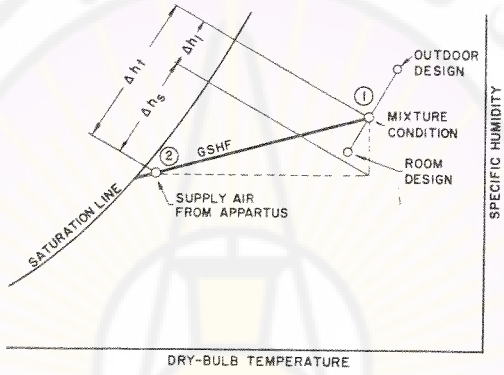
q_l كمية الحرارة الكامنة المزالة في وشيعة تبريد الهواء

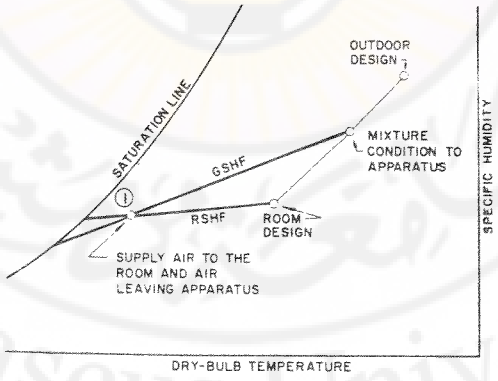
q_t كمية الحرارة الكلية المزالة في وشيعة تبريد الهواء

ان حالة الهواء التي تدخل وشيعة التبريد 1 والتي تمثل في اغلب الاحيان مزيج الهواء المعاد والهواء الجديد وحالة الهواء بعد تركه وشيعة التبريد والممثلة بالنقطة 2 يمكن وصلها بخط مستقيم يمثل تدرج حالة الهواء داخل وشيعة التبريد .

ان ميل هذا الخط المستقيم (والذى يمثل النسبة بين الحرارة

المحسوسة والحرارة الكلية الى وشيعة التبريد) يمكن رسمه على المخـــــطط السايكومترى بدون معرفة حالة الهواء بعد وشيعة التبريد كما يبينه الشـــكل

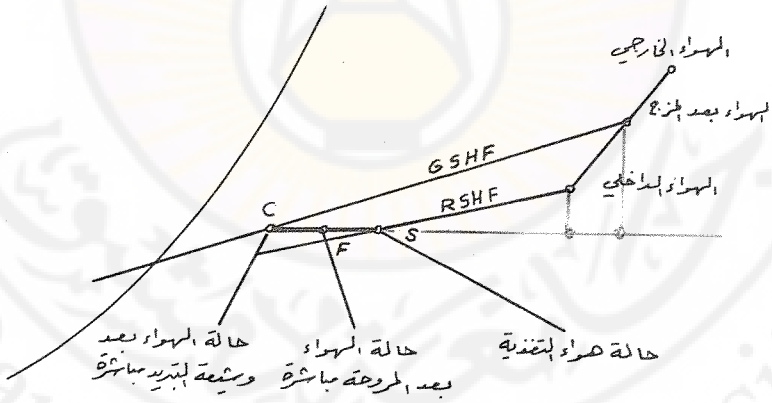




لكي تعمل وشيعة التبريد بشكل اقتصادى يجب ان يتقاطـــــع RSHF مع GSHF وان نقطة التقاطع هذه تمثل حالة الهواء الـــذى يدخل الى المكان المكيف في حال اهمال ارتفاع درجة حرارة الهواء نتيجـــة

المروحـــة ومجارى الهـــواء .

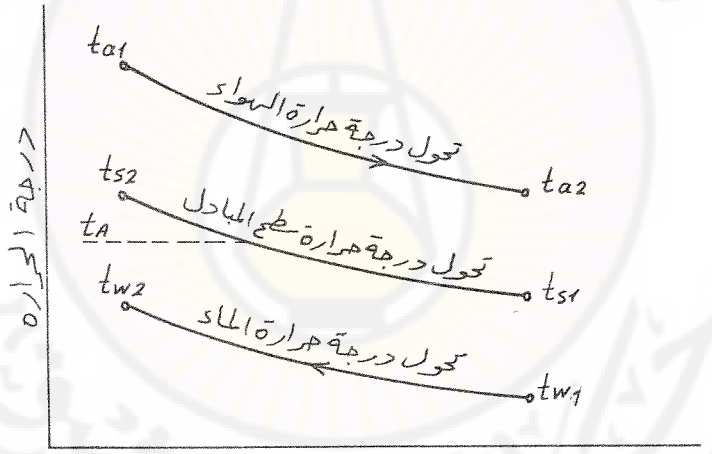
اما في الحالة العامة فانه لا يمكننا اهمال ارتفاع د رجـــــة حرارة الهواء بعد وشيعة التبريد مباشرة نتيجة وجود المروحة ونتيجة الربـح (او الضياع) الحرارى في مجارى الهواء وحتى وصوله الى فتحات التغذيـــة لهذا فان حالة الهواء بعد وشيعة التبريد مباشرة، وحالة الهواء بعـــد المروحة مباشرة وحالة الهواء عند وصوله الى فتحات التغذية لا تنطبق علـــى نقطة واحدة والشكل التالي يبين ذلك



١٢ ـ ٦ ـ ٤ عامل التحويـــــل By-Pass Factor :

قبل تعريف هذا العامل علينا ان نعرف د رجة الحـــــــرارة السطحية الفعالة للمبادل الحرارى، والتي هي د رجة حرارة سطح المبادل الحرارى (المعتبرة) والتي توثر بنفس التأثير الحرارى الذى توثره د رجـــة

حرارة سطح المبادل الحرارى المتغيرة. فعند ملامسة الهواء لسطح المبادل الحرارى فان درجة حرارة هذا الهواء تتغير وكذلك تتغير درجة حرارة سطح هذا المبادل الحرارى وطبقا الى طريقة الجريان تتغير درجة حرارة الهواء ودرجة حرارة سطح المبادل الحرارى. والشكل التالي يبين مبادلا حراريا بجريان متعاكس .



سطح المبادل الحرارى

فمثلا اذا كانت درجة حرارة الهواء عند ابتداء دخوله الى المبادل الحرارى (وشيعة التبريد) t_{a1} ودرجة حرارته بعد خروجه من المبادل الحرارى t_{a2} ، وكانت درجة حرارة الماء عند دخوله الى المبادل الحرارى (وشيعة التبريد) t_{w1} وعند خروجه منها t_{w2} فان درجة حرارة سطح المبادل الحرارى تتغير من t_{s1} الى t_{s2} ، فان درجة الحرارة السطحية الفعالة للمبادل الحرارى هي درجة الحرارة t_A

والتي لها نفس التأثير الحراري عند تغير درجة حرارة سطح المبادل الحراري.

ان هذه الدرجة تمثل في وشائع التبريد نقطة تقاطع GSHF مع منحنى الاشباع للهواء الرطب ، ومنه تعرف ايضا بدرجة حرارة نقطة الندى لوشيعة التبريد Apparatus Dew Point ، علما بأنها ليست من الضرورة ان تقع على منحنى الاشباع حيث يمكن ان تكون داخل هذا المنحنى.

ان عامل التحويل يعبر عن المواصفات الفيزيائية والمواصفات العملية لوشيعة التبريد ، ويبين كمية تدفق الهواء التي تمر خلال وشيعة التبريد بدون ان تتغير مواصفاتها الفيزيائية والحرارية .

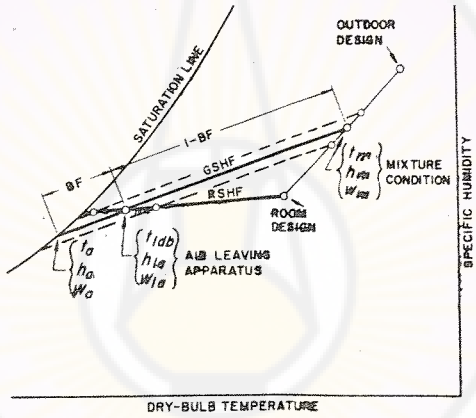
وان المواصفات الفيزيائية والعملية التي تؤثر على قيمة عامل التحويل هي :

أ ـ ان انخفاض عامل انتقال الحرارة لوشيعة التبريد يؤدي الى زيادة قيمة هذا العامل (اى وجود عدد قليل من صفوف الوشيعة ومساحة سطحية قليلة) .

ب ـ ان انخفاض سرعة الهواء داخل الوشيعة يؤدي الى نقص في قيمة هذا العامل (اى زيادة الوقت اللازم للهواء للتماس مع السطح) علما ان تأثير العامل أ اعلى من تأثير العامل ب .

توجد علاقة بين BF و GSHF و RSHF ، حيث RSHF هو ثابت كما وجدنا بينما GSHF يتغير طبقا الى نسبة مزج الهواء الخارجي

والهواء المعاد ومنه فان نقطة تقاطع RSHF و GSHF (التي تمثل حالة الهواء بعد وشيعة التبريد مباشرة) تتغير طبقا لذلك، وكذلك تتغير حالة الهواء الداخل الى الوشيعة والخارج منها وتتحول قيمة BF ودرجة حرارة نقطة الندى لوشيعة التبريد .



ان اختيار عامل التحويل تابع للموازنة الاقتصادية، اى الى تكلفة التشغيل وتكلفة السعر للوشيعة. وتوجد قوائم يمكن منها اختيار هذا العامل . فعند ما نختار قيمة هذا العامل صغيرة فان :

أ ـ درجة الحرارة t_A تكون عالية (في اجهزة التكييف الصغيرة) ،

ب ـ كمية الهواء تكون قليلة ، مروحة صغيرة ومحرك صغير .

جـ ـ سطح التبادل الحرارى يكون كبيرا .

وعند اختيار قيمة كبيرة للعامل By Pass فانه تكون

أ ـ درجة حرارة t_A منخفضة (اى درجة حرارة منخفضة لسائل

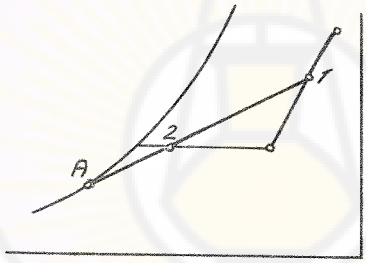
التبريـــــد)

ب ـ كمية هواء عاليـــة ، مروحـة كبيـرة ، محرك كبيـــر .

جـ ـ سطح صـــغير للتبادل الحرارى .

ان هذا العامل يمكن ايضا التعبير عنه بشكل رياضي بالمعادلـــة التاليـــة

$$BF = \frac{2A}{1A} = \frac{t_2 - t_A}{t_1 - t_A} = \frac{h_2 - h_A}{h_1 - h_A}$$



١٢ ـ ٦ ـ ٥ عامـــل الحرارة المحســـوس الفعـــال :

Effective Sensible Heat Factor

يمثل ميل المستقيم الذى يصل بين النقطة التي تمثل حالـــة الهواء في الغرفة المكيفة والنقطة التي تمثل درجة حرارة نقطة الندى لسـطح المبرد t_A او هو النسبة بين الحرارة المحسوسة الفعالة للغرفـة الـــى مجموع الحرارة المحسوسة الفعالة والحرارة الكامنة الفعالة للغرفـــة .

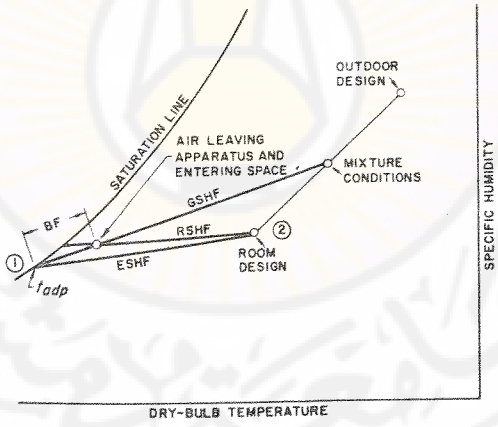
ان الحرارة المحسوسة الفعالة للغرفة تساوى الى الحـــرارة المحسوسة للغرفة RSH مضافا اليها الحمل الحرارى المحسوس الـــى الهواء الخارجي والمعتبرة انها تمر بشكل By Pass اى التي لا تتغير

حالتها عند اختراقها وشيعة التبريد وتتعلق قيمتها بعامل التحويل .

ان الحرارة الكامنة الفعالة هي مجموع الحرارة الكامنة للغرفة LHR مضافا اليها الحرارة الكامنة للهواء الخارجي والمعتبرة انها تمر بشكل By Pass اى التي لا تتغير حالتها عند اختراقها وشيعة التبريد وتتعلق قيمتها ايضا بعامل التحويل

$$ESHF = \frac{ERSH}{ERSH + ERLH}$$

يمكن رسم هذا العامل بعد معرفة النسبة السابقة، ويبين الشكل التالي ميل : ESHF . GSHF . RSHF



١٢ ـ ٦ ـ ٦ خط تغير الحالة Condition Line :

ان هدف تكييف الهواء يمكن تلخيصه بثلاث نقاط اساسية وهي :

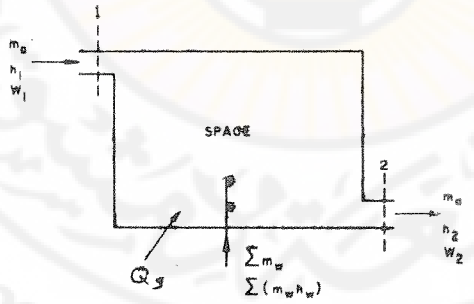
أ ـ حساب كمية الهواء الرطب الواجب ادخالها الى المكان المكيف

ب ـ تعيين مواصفات هواء التغذية الحرارية ليخلص المكان المكيف من كمية الطاقة الحرارية المحسوسة المتولدة داخله نتيجة الربح

الحرارى من المصادر الخارجية والربح الحرارى من المصادر الداخلية والتي تؤدى الى زيادة درجة حرارة هذا الهواء وتسمى كما رأينا Sensible Heat Gain وكذلك تخليص المكان المكيف من كمية الرطوبة المتولدة داخله نتيجة المصادر الداخلية والخارجية والتي تؤدى الى رفع نسبة الرطوبة داخل المكان المكيف وتسمى كما رأينا Latent Heat Gain

جـ ـ المحافظة على المواصفات الحرارية المطلوبة داخل المكان المكيف ٠

ان الشكل التالي يبين مكانا مكيفا حيث Q_s الربح الحرارى المحسوس الى المكان المكيف نتيجة الربح الحرارى من المصادر الخارجية ومن المصادر الداخلية



و Σm_w الكمية الكلية من بخار الماء المتولدة داخل المكان المكيف من المصادر الداخلية والمصادر الخارجية ٠

فاذا فرضنا ان الحالة ثابتة داخل المكان المكيف Steady State فيمكننا كتابة المعادلات التالية

$$m_a \cdot h_1 + Q_s + \Sigma m_w \cdot h_w = m_a \cdot h_2 \qquad (1)$$

$$m_a \cdot w_1 + \Sigma m_w = m_a \cdot w_2 \qquad (2)$$

من المعادلة (1) $Q_s + \Sigma m_w \cdot h_w = m_a (h_2 - h_1)$

من المعادلة (2) $\Sigma m_w = m_a (w_2 - w_1)$

من تقسيم المعادلتين الاخيرتين نحصل على

$$\frac{h_2 - h_1}{w_2 - w_1} = \frac{Q_s + \Sigma m_w \cdot h_w}{\Sigma m_w}$$

ان هذه المعادلة تبين انه من اجل اى مواصفات حرارية داخلية معينة ومطلوبة للهواء فانه توجد حالة حرارية محتملة لهواء التغذية يجب ان تقع على خط مستقيم يصل بين النقطة الداخلية المطلوبة للهواء ، وميل هذا المستقيم (اتجاهه) يعطى بالعلاقة

$$\frac{Q_s + \Sigma m_w \cdot h_w}{\Sigma m_w}$$

ان هذا المستقيم يسمى خط تغير الحالة

ويرمز له بـ S

$$S = \frac{\Delta h}{\Delta w}$$

١٣ حساب كمية الهواء اللازمة للتكييف والتهوية

ان التكييف لاجل الراحة او التكييف الصناعي للمعامل يتطلب دخول كميات كبيرة من الهواء وسحب كميات اخرى مساوية لها تقريبا . ان الهواء الداخل يجب ان يعالج من جهة درجة الحرارة والرطوبة والنظافة وغيرها . وان حساب كمية تدفق الهواء الكلية اللازمة للتهوية والتكييف وكذلك كمية تدفق الهواء المعادة وكمية تدفق الهواء الجديد تعتبر من الامور الرئيسية في هذا المجال .

ان حساب كمية تدفق الهواء الكلية وكمية تدفق الهواء الجديد اللازمة للتهوية والتكييف يمكن القيام بها باحدى الطرق التالية

١ ــ من معرفة عدد مرات تبديل الهواء في الساعة الى المكان المكيف . $n\,[m^3/s]$

٢ ــ من معرفة كمية الهواء اللازمة للشخص الواحد . $[m^3/s.pr]$

٣ ــ من معرفة الربح الحرارى المحسوس للمكان المراد تكييفه Q_s

٤ ــ من معرفة الضياع الحرارى المحسوس للمكان المراد تكييفه Q'_s .

٥ ــ من معرفة الربح الحرارى الكامن للمكان المراد تكييفه Q_l .

٦ ــ من معرفة العوامل المستعملة في المخططات السايكومترية .

٧ ــ من معرفة المواد الضارة المنبعثة داخل المكان المكيف او المهوّى .

١٣ ـ ١ حساب كمية تدفق الهواء الجديد من معرفة عدد مرات تبديل الهواء :

يمكن حساب كمية تدفق الهواء الجديد بهذه الطريقة في بيوت السكن عندما يكون الهواء ملوثا اما بالدخان او بغاز Co^2 ، وعندما لا يمكن معرفة عدد الاشخاص الموجودين في المكان المكيف . وتستعمل هذه الطريقة في التهوية البسيطة وتتعلق بحجم المكان المكيف وارتفاعه وموقعه . ويبين الجدول التالي بعض هذه القيم والتي يظهر عليها التفاوت الكبير والتي حددت بالتجربة ، ويمكن الاعتماد عليها في بعض الاحيان .

المكان المكيف	عدد مرات تبديل الهواء مرة / ساعة
مسرح ، سينما ، مكتبة	4 ÷ 8
اماكن تجمع الناس	5 ÷ 10
مدارس	5 ÷ 6,5
قاعات محاضرات	6 ÷ 8
مطاعم ، مقاهي	5 ÷ 8
مكاتب	2 ÷ 3
كراجات	4 ÷ 6

١٣ ـ ٢ حساب كمية تدفق الهواء الجديد من معرفة كمية الهواء الجديد اللازمة للشخص الواحد :

ان الهواء يفسد نتيجة وجود الاشخاص الموجودين في المكان المكيف، ومنه فان كمية الهواء الجديد الضرورية تحدد طبقا الى حاجة كل شخص من الهواء الجديد خلال ساعة، اى $m^3/h \cdot pr$. وان تحديد الكمية لكل شخص بحالة الراحة وفي مكان يمنع فيه التدخين يتم بحيث لا يزيد تركيز كمية Co^2 للهواء المطرود (الداخلي) عن $0,11\% m^3/m^3$ فاذا علمنا ان الانسان يزفر $20\ litre/h$ من غاز Co^2 فان حجم الهواء الضرورى للشخص الواحد تحسب من المعادلة

$$V_1 = \frac{K}{C - C_1} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{0,11.10^{-2} - 0,03.10^{-2}} = 25\ m^3/h$$

حيث C_1 هو تركيز Co^2 في الهواء الجديد m^3/m^3

C هو تركيز Co^2 في الهواء المطرود (المسموح به) m^3/m^3

ويساوى تقريبا $0,03.10^{-2}\ m^3/m^3$

ان هذه الكمية من الهواء الجديد اللازمة للشخص الواحد تزداد بحيث تصبح من $50 \div 85\ m^3/h$ لكل شخص عند السماح بالتدخين او عند القيام بأعمال شاقة، كما يمكن تخفيض هذه الكمية عند ارتفاع درجة الحرارة الخارجية او عند انخفاض درجة الحرارة الخارجية وذلك لاسباب اقتصادية، والجدول التالي يمكن الاعتماد عليه في ذلك وطبقا الى VDI .

درجة الحرارة الخارجية °C	اقل كمية من الهواء الجديد بـ $m^3/h.pr$ اللازمة	
	مكان ممنوع فيه التدخين	مكان مسموح فيه التدخين
- 20	8	12
- 15	10	15
- 10	13	20
- 5	16	24
0 - 26	25	30
اكثر من 26	15	23

ينصح بزيادة القيم السابقة بمقدار $10\ m^3/h$ لكل شخص.

هذا ويمكن الاعتماد على الجدول التالي ايضا بدون الاخذ بعين الاعتبار درجة الحرارة الخارجية .

المكان المكيف	كمية الهواء اللازمة لكل شخص بـ m^3/h
مسارح	30 - 40
سينما	20 - 40
مدارس ، قاعات محاضرات	20 - 50
اماكن تجمع السكان	
اماكن يسمح فيها بالتدخين	50 - 85
اماكن غير مسموح فيها بالتدخين	25 - 40

١٣ ـ ٣ حساب كمية تدفق الهواء الكلية من معرفة الربح الحـــــــرارى المحسوس للمكان المراد تكييفه :

تحسب كمية تدفق الهواء اللازمة للتكييف او التهوية مـــــن العلاقـــة التاليـــة

$$V_{t.s} = \frac{Q_s}{\rho_{t.s} \cdot C \cdot (t_r - t_s)} \quad [m^3/s]$$

او مـــن العلاقـــة

$$m = \frac{Q_s}{C \ (\ t_r - t_s \ )} \quad [kg/s]$$

حيث $V_{t.s}$ هو حجم الهواء عند درجة حرارة هواء التغذية $[m^3/s]$

C الحرارة النوعية للهواء عند درجة حرارة التغذية $J/kg\,C^\circ$

t_s درجة حرارة هواء التغذية الى المكان المكيف C°

t_r درجة حرارة الهواء داخل المكان المكيف C°

$\rho_{t.s}$ كثافة الهواء عند درجة حرارة التغذية kg/m^3

Q_s الربح الحرارى المحسوس للمكان المكيف بـ W أو $[KW]$

وباعتبار ان كتلة الهواء ثابتة لا تتغير يمكننا كتابـــة المعادلـــة التاليـــــة :

$$V_{t.s} \cdot \rho_{t.s} = m = V_t \cdot \rho_t = V_1 \cdot \rho_1$$

حيث V_t هو حجم الهواء في اى درجة من الحرارة (m^3/s)

ρ_t هو كثافة الهواء في اى درجة من الحرارة

كما يمكننا كتابة المعادلة العامة للغازات عند درجة حرارة t

ود رجة حرارة اخرى معتبـــرة t_1 بالشكل التالي

$$\rho = \rho_t \cdot R \cdot T_t = \rho_1 \cdot R \cdot T_1$$

$$\rho_t = \rho_1 \frac{T_1}{T_t} = \rho_1 \frac{273 + t_1}{273 + t}$$

ومنـــه

$$m = V_t \cdot \rho_t = V_t \cdot \rho_1 \frac{273 + t_1}{273 + t}$$

$$Q_s = m \quad (t_r - t_s) = V_t \cdot \rho_1 \frac{273 + t_1}{273 + t} \cdot C \cdot (t_r - t_s)$$

فاذا فرضنا ان الحرارة النوعية للهواء الرطب الوسطية (اى عند د رجة حرارة 20°) هي $1{,}026\ kJ/kg\ C^\circ$ وان الكتلة النوعيـــة للهواء الرطب عند د رجة الحرارة 20° هي $1{,}191\ kg/m^3$ وعنـــد نسبة الاشباع 50% تصبح المعادلة السابقة

$$Q_s = V_t\ m^3/s \cdot 1{,}191 \cdot 1{,}026 \frac{273 + 20}{273 + t} (t_r - t_s)$$

ومنه حجم الهواء

$$V_t\ [m^3/s] = \frac{Q_s\ [KW]}{t_r - t_s} \cdot \frac{273 + t}{358}$$

حيث V_t هو حجم الهواء عند د رجة الحرارة t والتي يمكن ان تكـون مساوية الى t_r او t_s اوغيرهـــا .

ملاحظـــة :

لقد تكلمنا سابقا عن الحرارة النوعية للهواء الرطب والتي تختلف تماما عن الحرارة النوعية للهواء الجاف عند نفس د رجة الحرارة . ان الهواء الرطب الذى هو مزيج من الهواء الجاف ومن بخار الماء *superheated*

يمكن اعتبار هذين المزيجين (اى هواء جاف وبخار الماء) بنفس درجة الحرارة دائما وهي درجة الحرارة الجافة للهواء.

فاذا فرضنا $1\ Kg$ من الهواء الجاف ومعه نسبة رطوبة $W[Kg/Kg\ d.a]$ يدخل الى المكان المكيف بدرجة حرارة t_s للحفاظ على درجة حرارة داخلية للغرفة t_r وبوجود ربح حرارى محسوس $Q_s[kW]$ فان معادلة التوازن الحرارى يمكن كتابتها

$$Q_s = 1.1{,}012\ (t_r - t_s) + W\ 1{,}890\ (t_r - t_s)$$

حيث $1{,}012$ هي الحرارة النوعية للهواء الجاف عند ضغط ثابت $KJ/Kg\ C^\circ$

$1{,}890$ هي الحرارة النوعية لبخار الماء عند ضغط ثابت $KJ/Kg\ C^\circ$

ومنه $$Q_s = (1{,}012 + 1{,}890\ W)(t_r - t_s)$$

ان الحد $1{,}012 + 1{,}890$ يسمى في بعض الاحيان الحرارة النوعية للهواء الرطب.

١٣ ـ ٤ حساب كمية تدفق الهواء الكلية من معرفة الضياع الحرارى المحسوس لمكان المراد تكييفه

تحسب كمية تدفق الهواء اللازمة من العلاقات السابقة تماما وهي

$$V_{t.s} = \frac{Q'_s}{\rho_{t.s} \cdot c\ (t_s - t_r)}\ m^3/s$$

$$m = \frac{Q'_s}{c\ (t_s - t_r)}\ Kg/s$$

$$V_t = \frac{\dot{Q}_s}{t_s - t_r} \quad \frac{273 + t}{358}$$

حيث c الحرارة النوعيـــة للهواء الرطب

t_s د رجة حرارة هواء التغذية الى المكان المكيف

t_r د رجة حرارة الهواء د اخل المكان المكيف

وعاد ة نختار $t_s = 48 \div 60\ c^\circ$ في المعامل الصناعية

$t_s = 30 \div 45\ c^\circ$ لاغراض الراحـــة

١٣ ـ ٥ حساب كمية تد فق الهواء الكلية من معرفة الربح الحرارى الكامن للمكان المـــراد تكييفـــــه

يمكن حساب كمية تد فق الهواء الكلية من المعاد لة التالية :

الربح الحرارى الكامن بـ kw = كتلة بخار الماء المتبخرة بـ كغ/ثانية × الحرارة الكامنة لتبخر الماء بـ kJ/kg .

اوالربح الحرارى الكامن = كتلة هواء التغذية الجاف بـ $kg\ dryair/s$ ×

زياد ة نسبة الرطوبة بـ $kg\ of\ water/kg\ dryair$ ×

الحرارة الكامنة لتبخر الماء $kJ/kg\ of\ water$

$$Latent\ Heat = m_a (w_i - w_s) l_w$$

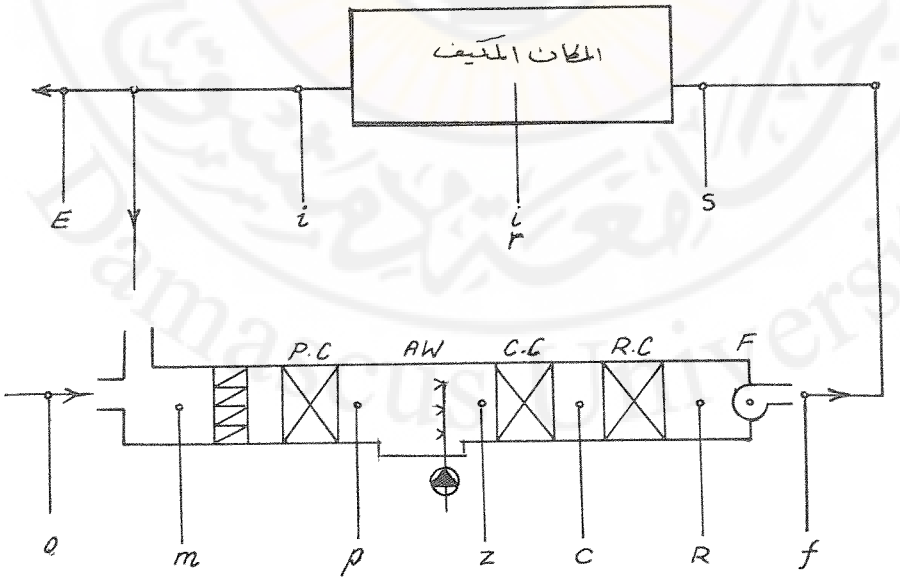
$$m_a = \frac{Q_l}{(w_i - w_s)\ l_w}$$

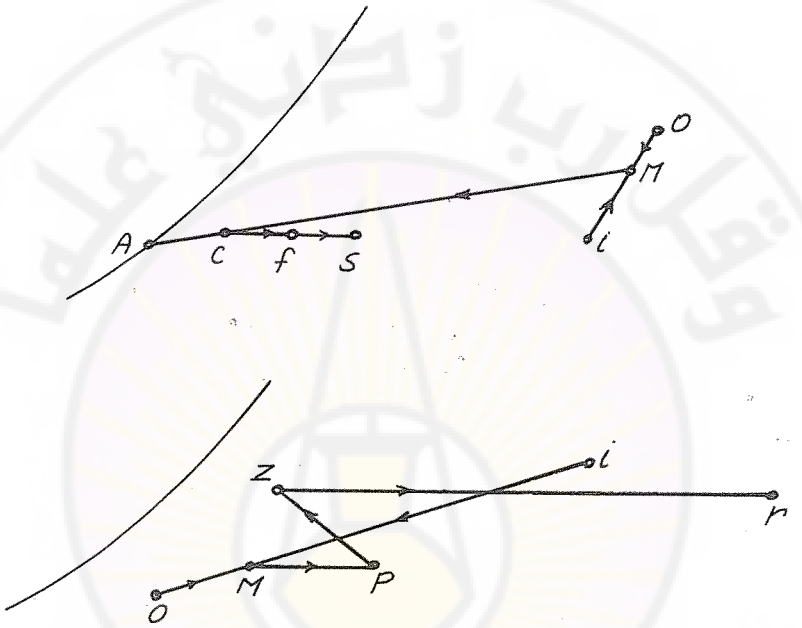
$$V_t = m_a \cdot V_t = \frac{Q_l \cdot V_t}{(w_i - w_s) l_w} = \frac{m_w \cdot V_t}{w_i - w_s}$$

حيث V_t هو حجم الهواء عند درجة الحرارة t (تستعمل العلاقة السابقة عند الاخذ بعين الاعتبار بالدرجة الاولى نسبة الرطوبة في المكان المكيف)

١٣ ـ ٦ حساب كمية تدفق الهواء الكلية من معرفة العوامل المستعملة في المخططات السايكومترية

يمكن حساب كمية تدفق الهواء الكلية من معرفة الاحمال الحرارية ومن معرفة العوامل المستعملة في المخططات السايكومترية . فاذا كانت لدينا وحدة تكييف كلاسيكية conventional كما في الشكل وتحتوى على جميع عناصر التكييف .





سنرمز الى

مواصفات الهواء الخارجي	O
مواصفات الهواء المعاد (او هواء الغرفة)	i ، r
مواصفات هواء المزج	m
مواصفات الهواء بعد وشيعة التسخين المسبق	p
مواصفات الهواء بعد المرطبة	z
مواصفات الهواء بعد وشيعة التبريد	c
مواصفات الهواء بعد وشيعة التسخين اللاحق	R
مواصفات الهواء بعد المروحة مباشرة	f

مواصفات هواء التغذيـــــة	s
تدفق الهواء الخارجـــي	V_o
تدفق الهواء المعـــاد	V_r
تدفق الهواء المطـــرود	V_E
تدفق الهواء الكلـــي	V
الحمل التبريدى المحسوس للمكان المكيف	Q_s
الحمل الحرارى الكامن للمكان المكيف	Q_l
الحمل التبريدى المحسوس للهواء الجديد	Q_{so}
الحمل الحرارى الكامن للهواء الجديد	Q_{lo}
الحمل التبريدى المحسوس لوشيعة التبريد	q_s
الحمل الحرارى الكامن لوشيعة التبريد	q_l

واذا فرضنا ان كثافة الهواء ثابتة لا تتغير مع تغير درجـــات الحرارة وتساوى $1,2\ kg/m^3$ وان الحرارة النوعية للهواء ثابتة لا تتغير ايضا مع تغير درجات الحرارة وتساوى الى $1000\ J/kg\ C^\circ$ ،وان الحرارة الكامنة للماء تساوى $2500\ KJ/kg$ وان الحرارة النوعية للماء تســـاوى $4,2\ KJ/kg\ C^\circ$

فيكـــــون

$$Q_s = 1,2 \cdot V \cdot 1000\ (t_i - t_s)$$

$$Q_l = 1,2 \cdot V \cdot 2500\ (W_i - W_s)$$

$$Q_t = Q_s + Q_l = 1,2 \cdot V\ (h_i - h_s)$$

$$Q_{so} = 1,2 \cdot V_o \cdot 1000\ (t_o - t_i)$$

$$Q_{lo} = 1,2 \cdot V_o \cdot 2500 \ (t_o - t_i)$$

$$Q_{to} = Q_{so} + Q_{lo} = 1,2 \cdot V_o \ (h_o - h_i)$$

$$q_s = Q_s + Q_{so} = 1,2 \cdot V \cdot 1000 \ (t_m - t_c)$$

$$q_l = Q_l + Q_{lo} = 1,2 \cdot V \cdot 2500 \ (W_m - W_c)$$

$$q_t = q_s + q_l = 1,2 \cdot V \ (h_m - h_s)$$

الحمل التبريدى المحسوس الفعال

$$Q_{SE} = ERSH = Q_s + BF \cdot Q_{so}$$

الحمل الحرارى الكامن الفعال

$$Q_{lE} = ERLH = Q_l + BF \cdot Q_{lo}$$

الحمل التبريدى الكلي الفعال

$$Q_{tE} = Q_{SE} + Q_{lE} = Q_s + Q_l + BF \ (Q_{so} + Q_{lo})$$

$$RSHF = \frac{Q_s}{Q_s + Q_l}$$

$$GSHF = \frac{q_s}{q_s + q_l}$$

$$ESHF = \frac{Q_{SE}}{Q_{SE} + Q_{lE}}$$

من المعادلات السابقة ومن العوامل السايكومترية ومن الفرضيات السابقة يمكننا حساب كمية تدفق الهواء من احدى المعادلات التالية :

$$V = \frac{Q_s}{1,2 \cdot 1000 \ (t_i - t_s)} = \frac{Q_l}{1,2 \cdot 2500 \ (w_i - w_s)}$$

$$= \frac{Q_s + Q_l}{1,2 \ (h_i - h_s)}$$

او من المعادلـــــة

$$V = \frac{q_s}{1,2 \cdot 1000 \ (t_m - t_c)} = \frac{q_l}{1,2 \cdot 2500 \ (w_m - w_c)}$$

$$= \frac{q_s + q_l}{1,2 \ (h_m - h_c)}$$

او من المعادلـــــة

$$V = \frac{Q_{SE}}{1,2 \cdot 1000 (1-BF)(t_i - t_A)} = \frac{Q_{lE}}{1,2 \cdot 2500 (1-BF)(w_i - w_A)}$$

$$= \frac{Q_{SE} + Q_{lE}}{1,2 (1-BF)(h_i - h_A)}$$

١٣ ــ ٧ حساب كمية تدفق الهواء الجديد اللازمة للتهوية من معرفة المواد الضارة المنبعثة داخل المكان المكيف او المهوى

١٣ ــ ٧ ــ ١ حساب كمية التدفق عندما تكون التهوية داخل المكان المكيف مستمرة وحالة الهواء مستقرة وثابتة

وكان داخل المكان مصدرا من مصادر المواد الضارة فان المعادلة التوازنية التالية يمكن كتابتها :

$$K + V_{c1} = V_c$$

حيث K هي كمية المواد الضارة المنبعثة داخل المكان المكيف

بـ $[mg/s]$ or $[m^3/s]$

V كمية الهواء اللازمة للتهوية (هواء جديد) $[m^3/s]$

c_1 تركيز المواد الضارة في الهواء الجديد $[mg/m^3]$ or $[m^3/m^3]$

c تركيز المواد الضارة في الهواء المطرود او داخل الغرفة

حيث يجب ان يكون هذا التركيز اقل تركيز للمواد الضارة

مسموحا به $[mg/m^3]$ or $[m^3/m^3]$

ومنه ينتج معنا كمية الهواء اللازمة للتهوية

$$V = \frac{K}{c - c_1} = \frac{mg/s}{mg/m^3} \text{ OR } \frac{m^3/s}{m^3/m^3} = [m^3/s]$$

فاذا فرضنا ان الهواء الجديد المغذى به المكان المكيف او المهوى لا يحوى اى مواد ضارة تكون $c_1 = 0$ ومنه تصبح المعادلة السابقة

$$V = \frac{K}{c} \quad m^3/s$$

١٣ ـ ٧ ـ ٢ حساب كمية تدفق الهواء عندما تكون التهوية متقطعة :

عندما تكون التهوية متقطعة وغير مستقرة فانه يجب التعبير عن الحالة اللحظية للهواء بمعادلات تفاضلية كما يلي

ـ اذا فرضنا ان كمية المواد الضارة المطرودة من المكان المكيف هي

$$V.C.dT \left[\frac{m^3}{s} \cdot \frac{m^3}{m^3} \cdot s\right] \text{ OR } \left[\frac{m^3}{s} \cdot \frac{mg}{m^3} \cdot s\right]$$

حيث C تركيز المواد الضارة اللحظية داخل المكان المكيف او الهـــواء المطرود

ـ اذا فرضنا ان كمية المواد الضارة المنبعثة من المصادر الداخليـــــة في المكان المكيف او المهوى هي

$$K dT \left[\frac{m^3}{s} \cdot s\right] \text{ OR } \left[\frac{mg}{s} \cdot s\right]$$

ـ اذا فرضنا ان زيادة كمية المواد الضارة في المكان المكيف نتيجـة عـدم طردها كلها هي

$$O dc \left[m^3 \cdot \frac{m^3}{m^3}\right] \text{ OR } \left[m^3 \frac{mg}{m^3}\right]$$

حيث O هو حجم المكان المكيف او المهوى بـ m^3

فان معادلة التوازن المادي يمكن كتابتها على الشكل التالي :

$$V.C_1.dT + K.dT - V.C.dT = O.dc$$

$$(VC_1 + K - V.C).dT = O.dc$$

$$VC_1 + K - V.C = O\frac{dc}{dt}$$

$$\frac{dc}{dt} + \frac{V.C}{O} = \frac{V.C_1 + K}{O}$$

هذه المعادلة التفاضلية تعبر عن المعضلة الفيزيائية بشكل رياضي . فـاذا فرضنا ان تركيز المواد الضارة في الهواء الجديد تساوى الى الصفر $C_1 = 0$ وان كمية المواد الضارة المنبعثة داخل المكان المكيف تساوى الى الصفـــر ايضا ،اى $K = 0$ ، فان المعادلة السابقة تصبح على الشكل التالي

$$\frac{dc}{dt} = -\frac{V}{O} \cdot C$$

حيث C هو تركيز المواد الضارة (اللحظية) الموجودة قبل ابتـــداء

التهوية داخل هذا المكان.

ويكون حل هذه المعادلـــة بالشكل التالي

$$\frac{dc}{c} = -\frac{V}{o}\,dt$$

$$\int \frac{dc}{c} = -\frac{V}{o}\int dt$$

$$lg\ C = -\frac{V}{o}.t + lg\ A$$

حيث A ثابت التكامـــــل

ومنه

$$lg\ c - lg\ A = -\frac{V}{o}\,t$$

$$lg\ \frac{c}{A} = \frac{V}{o}\,t$$

$$\frac{c}{A} = e^{-\frac{V}{o}t} \qquad C = A.e^{-\frac{V}{o}t}$$

فاذا فرضنا ان $c = c_o$ هو تركيز المواد الضارة الداخلية في المكـــان المهوى عند ما يكون الزمن $t =$ ☜ اى عند ابتداء التهوية فان المعادلة السابقة تصـــبح

$$c = c_o\, e^{-\frac{V}{o}t}$$

وباعتبار ان $\frac{V}{O} \cdot t$ هو عدد مرات تبديل الهواء تصبح المعادلة

$$c = c_o \cdot e^{-n}$$

حيث n عدد مرات تبديل الهواء بـ m^3 خلال وحدة الزمن

ان هذه المعادلة تسمى معادلة التماوت The Decay Equation

اذا رجعنا الى المعادلة السابقة

$$\frac{dc}{dt} + \frac{V.c}{O} = \frac{Vc_1 + K}{O}$$

وان حل هذه المعادلة يتم بضرب طرفيها بالحد $e^{\frac{V}{O}.t}$

$$\frac{dc}{dt} \cdot e^{\frac{V}{O}t} + \frac{V.c}{O} \cdot e^{\frac{V}{O}t} = \left(\frac{V.C_1 + K}{O}\right) \cdot e^{\frac{V}{O}t}$$

بالتكامل نحصل على

$$A\ c.e^{\frac{V}{O}t} = \frac{V.c_1 + K}{O} \cdot \frac{O}{V} \cdot e^{\frac{V}{O}t}$$

حيث A هو ثابت التكامل ، فاذا فرضنا ان $B = A.V$ تصبح المعادلة بالشكل التالي

$$AV + V.c.e^{\frac{V}{O}t} = (V.c_1 + K).e^{\frac{V}{O}t}$$

$$B.e^{-\frac{V}{O}t} + V.c = Vc_1 + K$$

$$B.e^{-\frac{V}{O}t} = Vc_1 + K - V.c$$

ان المواصفات الحدية هي عندما تكون $t = \infty$ فان $c = c_o$ ومنه

$$B = Vc_1 + K - Vc_0$$

وبالتعويض نحصل على

$$(Vc_1 + K - Vc_0).e^{-\frac{V}{0}t} = Vc_1 + K - Vc$$

او $$[K - V(c_0 - c_1)].e^{-\frac{V}{0}t} = K - V(c - c_1)$$

من هذه المعادلة يمكننا حساب حجم الهواء اللازم للتهوية V او تركيز المواد الضارة في المكان المهوى c بعد فترة من الزمن t او الزمن t اللازم ليصبح تركيز المواد الضارة قيمة معينة c فاذا فرضنا لتسهيل الحسابات ان

$$c_0 = c_1 = 0$$

وهذا في اكثر الاحيان ما يحدث حيث يكون تركيز المواد الضارة عند ابتداء العمل وابتداء التهوية يساوى الى الصفر، كما ان الهواء الجديد لا يحوى مواد ضارة ، اى ان $c_1 = 0$ تصبح المعادلة السابقة كما يلي

$$K.e^{-\frac{V}{0}t} = K - V.c$$

$$K - K.e^{-\frac{V}{0}t} = V.c$$

$$K\left(1 - e^{-\frac{V}{0}t}\right) = V.c$$

اذا كان الزمن كبيرا جدا ، اى $t = \infty$ وهذا يعني ان حالة التهوية مستمرة وسابقة ، تصبح المعادلة السابقة

$$K = V \cdot C \Rightarrow V = \frac{K}{C}$$

وهي نفس المعادلة السابقة التي حصلنا عليها .

من المعادلة الاخيرة يمكننا حساب V وذلك بشكل تقريبي بعد تعويض قيمة $e^{-\frac{V}{O}t}$ بالحدود الثلاثة لها

$$e^x = 1 + \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots + \frac{x^n}{n!}$$

ومنه فان قيمة حجم الهواء اللازم هي

$$V = \frac{K}{2C} - \frac{O}{t} + \sqrt{\left(\frac{K}{2C}\right)^2 + \frac{O}{t}\left(\frac{K}{C} - \frac{O}{t}\right)}$$

عندما تكون $t = \infty$ اى ان التهوية مستقرة وثابتة تصبح

$$V = \frac{K}{2C} + \frac{K}{2C} = \frac{K}{C}$$

وكما قلنا سابقا فان مرة تغيير هواء / ساعة

مثال :

احسب حجم الهواء اللازم الى كراج للسيارات الصغيرة حجمه $O = 15000\ m^3$ حيث ينبعث في داخل هذا الكراج وعند خروج السيارات منه كمية من غاز اول اكسيد الكربون CO تساوى $1,8\ Kg/h$ مدة اقامة العمال في الكراج ساعة واحدة على الاكثر، واكبر قيمة مسموح بها لغاز الفحم CO داخل الكراج هي $50\ mg/m^3$.

الحـــــل :

طبقا للمعادلـــة السابقة نكتب

$$V = \frac{1,8 \cdot 10^6}{3600 \cdot 2 \cdot 50} - \frac{15000}{3600} + \sqrt{\left(\frac{1,8 \cdot 10^6}{3600 \cdot 2 \cdot 50}\right)^2 + \frac{15000}{3600}\left(\frac{1,8 \cdot 10^6}{3600 \cdot 50} - \frac{15000}{3600}\right)}$$

$$= 5 - 4,17 + \sqrt{5^2 + 4,17(10 - 4,17)} = 7,85 \ m^3/s$$

$$= 28250 \ m^3/h$$

$$= \frac{28250}{15000} = 1,9/h$$ مرة في الســـــاعة

اذا اردنا حساب الزمن اللازم للوصول داخل المكان المهـــوى الى نسبة تركيز c ونفرض $c_0 = c_1 = 0$

$$t = \frac{0}{V} \ln \frac{V \cdot c - K}{K}$$

اما اذا اردنا حساب التركيز c بمعرفة K ، V ، C_0 ، C_1 فان المعادلة التالية تعطينا قيمتهـــا وهي

$$c = \left[\frac{K}{V \cdot C_1} + C_1\right]\left(1 - e^{-\frac{V}{0}t}\right) + C_0 e^{-\frac{V}{0}t}$$

اذا فرضنا انه عندما يكون $t = 0$ فان $c_0 = 0$ تصبح المعادلة

$$c = C_0 \cdot e^{-\frac{V}{0} \cdot t}$$

وهي معادلة التماوت ويمثلها المنحنى 1 في الاحداثيات $c - t$

اما اذا كان المكان المهوى خاليا من المواد الضـــارة عنـــــد

ابتداء التهوية $t=0$ فان $c_0=0$ وكان $K=0$ تصبح المعادلة

$$c = c_1 (1 - e^{-n})$$

وهي تمثل المنحنى 2 في الاحداثيات السابقة.

واذا كان المكان المهوى خاليا من المواد الضارة عند ابتداء التهوية اى عندما يكون $t=0$ فان $c_0=0$ كان $K \neq 0$ تصبح المعادلة

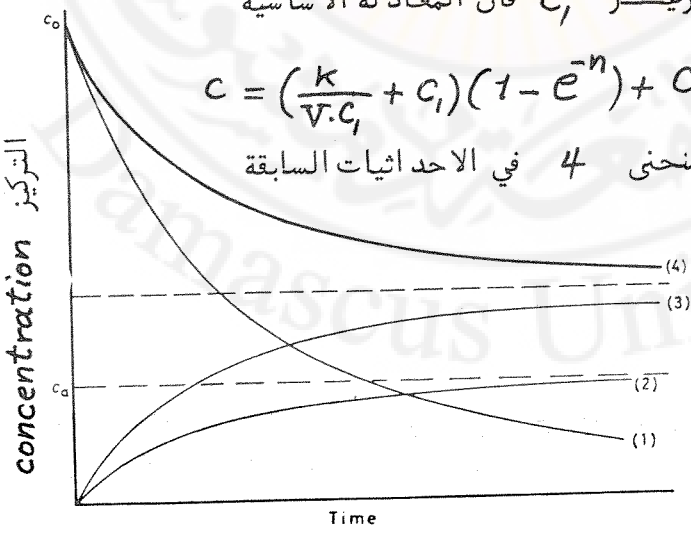
$$c = \left(\frac{K}{V.C_1} + C_1\right)(1 - e^{-n})$$

ويمثلها المنحني 3 في الاحداثيات السابقة.

واذا كان في المكان المهوى مواد ضارة عند ابتداء التهوية اى عندما تكون $t=0$ يكون c_0 وكانت $K \neq 0$ والهواء الجديد يحوى مواد ضارة بتركيز c_1 فان المعادلة الاساسية

$$c = \left(\frac{K}{V.C_1} + C_1\right)(1 - e^{-n}) + C_0 e^{-n}$$

وهي تمثل المنحنى 4 في الاحداثيات السابقة



١٤ التجهيزات الاساسية التي تتألف منها أجهزة التكييف والتهوية

مجاري الهواء

١٤ ـ ١ الاسس النظرية للجريان

ان احد الاجزاء الهامة لآلات التكييف والتهوية والتدفئة هو الجزء الناقل للموائع، مثل الانابيب ومجاري الهواء. وان التصميم الصحيح لهذه المجاري يجب ان يأخذ بعين الاعتبار عدة عوامل تصميمية وهي الفراغ المتوفر لهذه المجاري، طريقة توزيع المجاري، مستوى الضجيج، الضياعات الحرارية للمجرى والربح الحراري له، توازن الشبكة، مراقبة الحريق، الكلفة الاقتصادية للمجاري، وكلفة التشغيل.

فاذا رغبنا ان يكون عمل آلات التكييف جيدا، علينا ان نحسب وبدقة كميات الهواء اللازمة لكل مجرى، وان عدم كفاية التصميم الصحيح لهذه المجاري يؤدي الى اخطاء كبيرة في نظام التكييف وتوزيع الهواء لا يمكن اصلاحه بسهولة.

١٤ ـ ١ ـ ١ أسس الجريان: اذا كان لدينا مائع (غاز او سائل) موجود بين سطحين متوازيين 1 و 2 تفصل بينهما مسافة صغيرة y_0 وكان السطح العلوي 2 يتحرك بسرعة w_0 بينما السطح السفلي 1 ثابت لا يتحرك. ولنفرض ان السائل يلتصق على كلا السطحين، وان السطح 2 يتحرك بسرعة w_0 فان سرعة السائل على بعد y من السطح 1 ولنفرض ان السرعة تتحول بشكل مستقيم هي

$$w = w_0 \frac{y}{y_0}$$

كما ان القوة اللازمة لتحريك السطح 2 وطبقا للتجارب تساوى الى

$$\tau = \mu \frac{dw}{dy} \quad Kg/m/m$$

حيث μ عامل يعبر عن درجة الاحتكاك الداخلي للسائل ويسمى عامل اللزوجة الديناميكية dynamic viscosity $[Kgs/m^2]$

وعند تقسيم المعادلة السابقة على الكتلة النوعية للسائل ρ نحصل على

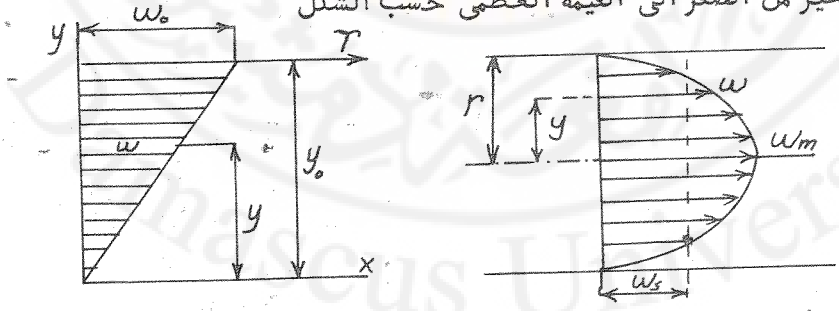
$$\frac{\tau}{\rho} = \frac{\mu}{\rho} \frac{dw}{dy} = \psi \frac{dw}{dy}$$

حيث ψ عامل اللزوجة الحركية Kinematic viscosity $[m^2/s]$

ρ الكتلة النوعية للسائل $[Kg/m^3]$

ملاحظة: ان السوائل الحقيقية تختلف عن السوائل المثالية حيث اللزوجة الديناميكية والحركية لها تكون مساوية الى الصفر .

ان سرعة جريان السوائل اللزجة داخل المجرى غير متساوية وتتغير من الصفر الى القيمة العظمى حسب الشكل



حيث تكون مساوية الى الصفر عند سطح المجرى وتزداد بالابتعاد عن هذا السطح حيث تصل الى قيمتها العظمى في محور الجريان . وعند ما يكون الجريان منتظما Laminar فان طبقات السائل تنزلق على بعضها

بدون اختلاط محتوياتها ويكون منحنى السرعة بشكل قطع مكافئ تقريبا ويتحول طبقا للعلاقة التالية

$$W = \frac{\Delta P_l}{4 \cdot \mu} (r^2 - y^2)$$

حيث ΔP_l انخفاض الضغط لكل متر $N/m^2 . m$

μ اللزوجة الديناميكية $N . s/m^2$

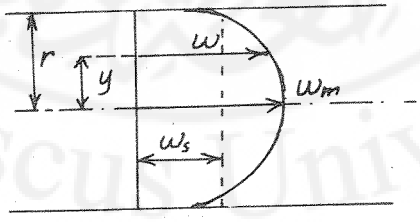
r نصف قطر المجرى m

y البعد عن محور الجريان m

اما السرعة الوسطية W_s فيمكن حسابها من العلاقة

$$W_s = \frac{\Delta P_l}{8 \mu} r^2 \quad [m/s]$$

وعند ما تكون سرعة السائل كبيرة فان جزئيات السائل تنتقل من طبقة الى اخرى وتختلط مع بعضها ويؤدى ذلك الى تعادل الطاقة الحركية للطبقات المنزلقة بحيث يؤدى الى توزع السرعة في المقطع طبقا للشكل



ويطلق على هذا النوع من الجريان "الجريان الجائش" turbulent وتعطى السرعة على مسافة y بالعلاقة

$$W = W_m \left(1 - \frac{y}{r}\right)^{\frac{1}{n}}$$

حيث w_m السرعة في محور الجريـــان $[m/s]$

n عامل تتراوح قيمته بين $10 \div 6$ طبقا لنوع هذا الجريان .

ويمكن معرفة الجريان فيما اذا كان منتظما او جائشا بحساب رقم "راينولس"

$$Re = \frac{w.d}{\psi}$$

حيث w سرعة الجريان الوسطية $[m/s]$

d قطـــر المجرى m

ψ اللزوجـــة الحركيـــة $[m^2/s]$

فعند ما يكون $Re < 2320$ يكون الجريان منتظما

وعند ما يكون $2320 < Re < 5000 \div 6000$ يكون الجريان انتقاليا

وعند ما يكون $Re > 6000$ يكون الجريان جائشا

وفي اكثر الاحيان يكون الجريان في مجارى التكييف والتهوية والتدفئة جريانا جائشا ، ويبين الجدول التالي يبين السرعة الحرجة للهواء بالنسبة الـــى قطر المجرى والتي تفصـــل بين الجريان المنتظم والجريان الجائش

قطر المجرى	300	1000
السرعة الحرجة	$0,107 \div 0,277$	$0,032 \div 0,0828$

قطر المجرى	20	50	100
السرعة الحرجة	$1,6 \div 4,14$	$0,64 \div 1,656$	$0,32 \div 0,828$

١٤ ـ ١ ـ ٢ معادلة الاستمرار : عند الجريان المنتظم فان الموائـــع تحقق معادلة الاستمرار التاليـــة

$$m = \rho . w_s . S = Const$$

حيث m تدفق السائل $[kg/s]$

ρ الكتلة النوعية للسائل $[kg/m^3]$

w_s السرعة الوسطية لهذا السائل $[m/s]$

S مقطع المجرى $[m^2]$

ان السرعة الوسطية للسائل في المجرى تعطى بالعلاقة

$$w_s = \frac{1}{S}\int_S w\,ds$$

١٤ ـ ٣ معادلة الطاقة للموائع في حالة الجريان (معادلة بيرنولي) :

عند جريان $1kg$ من مائع مثالي في مجرى بين مقطعين 1 و 2 فان شرط الحفاظ على الطاقة يعبر عنه بالمعادلة التالية

$$\left(\frac{w_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho_1} + h_1 \cdot g + u_1\right) - \left(\frac{w_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho_2} + h_2 \cdot g + u_2\right) = \pm e_{12}\ [J/kg]$$

والتي تبين ان تحول الطاقة الكلية للسائل تعطى بحاصل جمع الطاقة الحركية والطاقة الضغطية والطاقة الكامنة والطاقة الداخلية وتساوى الى الطاقة المعطاة للسائل من الخارج .

وعند ما تكون $e_{12} = 0$ و $\rho_1 = \rho_2 = \rho = const$

و $u_1 = u_2$ فان المعادلة السابقة تصبح بالشكل التالي

$$\frac{w_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho_1} + h_1 \cdot g = \frac{w_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho_2} + h_2 \rho$$

وبالشكل التفاضلي

$$\frac{w^2}{2} + \int \frac{dp}{\rho} + h.g = const$$

في عمليات التهوية والتكييف نعتبر الهواء غير قابل للانضغاط ومنه تصبح

المعادلـــــة الســـابقة

$$\frac{w^2}{2} + \frac{p}{\rho} + h.g = const$$

وهي معادلة Bernoulli . وبتقسيم معادلة بيرنولي على التاريـــخ الارضي g نحصـــل على المعادلـــة

$$\frac{w^2}{2g} + \frac{p}{\rho.g} + h = const \ [m]$$

وتعـــرف بـ total head . وبضرب معادلة بيرنولي بالكتلـــــة النوعية ρ نحصـــل على المعادلة

$$\frac{w^2.\rho}{2} + p + \rho.gh = const \ [N/m^2]$$

وتعرف بـ total pressure

حيث w السرعة الوسطية للجريان m/s

p الضغط بـ $Pa \ [N/m^2]$

h الارتفاع بـ m

g التاريخ الارضي m/s^2

ρ الكثافـــة بـ Kg/m^3

نرمز الى قيمة $\frac{p}{\rho.g}$ بـ static head ، حيث p يعـــرف بالضغط الستاتيكي static pressure ونرمز الى قيمة $\frac{w^2}{2g}$ بـ velocity head والى قيمة $\frac{\rho w^2}{2}$ بالضـــــغط الديناميكي velocity pressure ومنه يكون مجموع الضغط الستاتيكي والضـــغط الديناميكي مساويا للضغط الكلي

$$p_t = p_s + \rho \frac{w^2}{2} = p_s + p_v \ [N/m^2]$$

١٤ ـ ١ ـ ٤ جريان الموائع الحقيقية :

عند جريان الموائع الحقيقية (اللزجة) ينشأ نتيجة الاحتكاك الداخلي لها ضياعات ضغطية تتسبب في انخفاض الضغط الستاتيكي بين مقطع وآخر. فمثلا على طول مجرى بين المقطع 1 والمقطع 2 يحدث انخفاض ضغط ΔP_f فاذا فرضنا ان $\rho_1 = \rho_2 = \rho = const$ وان $h_1 = h_2$ تصبح معادلة بيرنولي للسوائل الحقيقية

$$\frac{w_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = \frac{w_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + \Delta H \quad [m]$$

او

$$\frac{\rho . w_1^2}{2} + p_1 = \frac{\rho w_2^2}{2} + p_2 + \Delta P_t \quad [P_a]$$

حيث ΔH هو الضياع الضغطي بالمتر

ΔP_f هو الضياع الضغطي بـ N/m^2 والناتج عن الاحتكاك

ويبين الشكل التالي يبين تحولات الضغط الكلي والضغط الستاتيكي لمجرى ووجود مروحة في هذا المجرى.

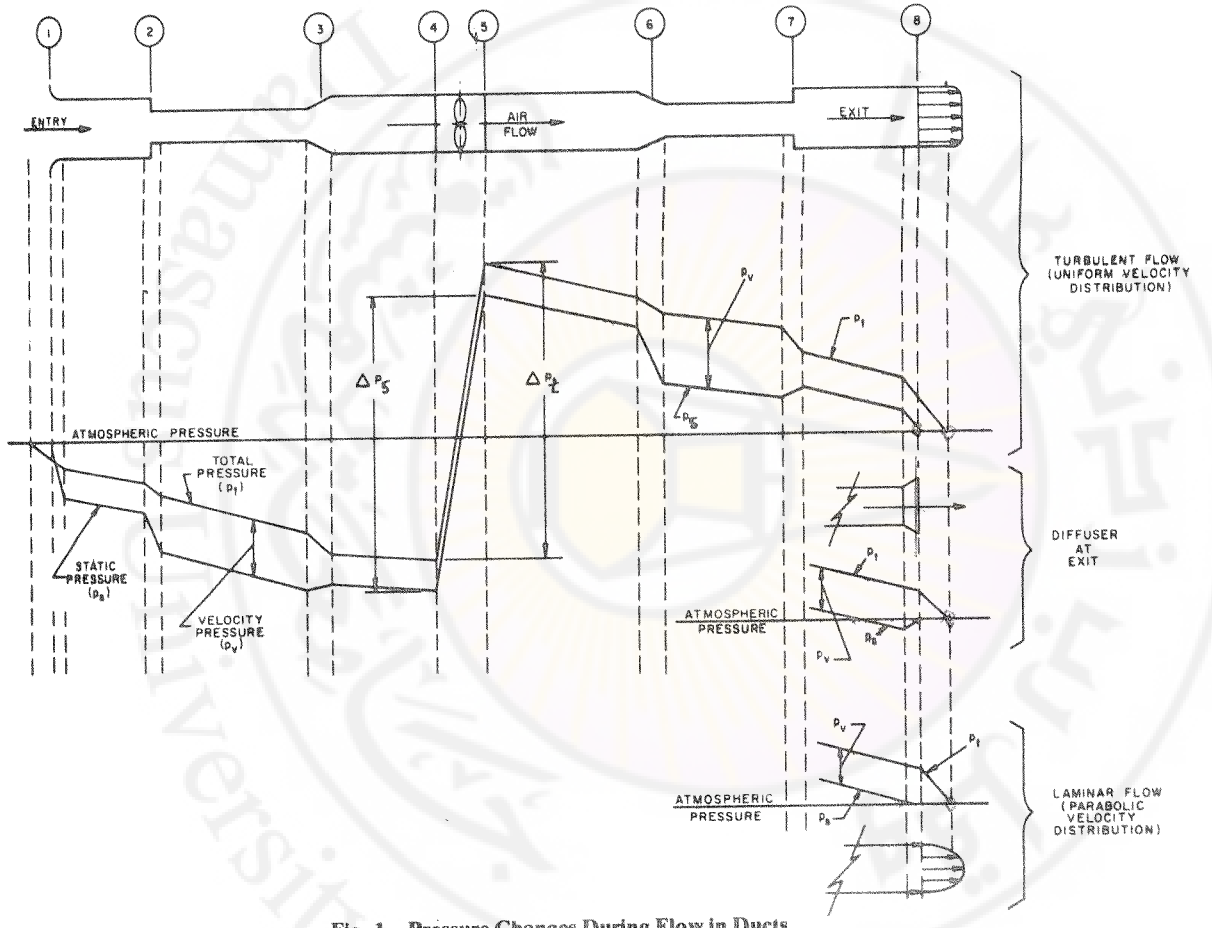


Fig. 1 Pressure Changes During Flow in Ducts

١٤ ـ ٥ الضياعات الناتجة عن جريان الموائع الحقيقية :

عند جريان السوائل في المجارى تحدث ضياعات ضغطية تتحول الى حرارة وتقسم الى قسمين

أ ـ الضياعات الناتجة عن الاحتكاك frictional losses

ب ـ الضياعات الديناميكية (المكانية)

ان الضياعات الناتجة عن الاحتكاك تنشأ في كل حجم السائل وعلى طول المجرى، بينما الضياعات المكانية فانها تنشأ في المكان الذى يتغير فيه اتجاه السائل وسرعته .

أ ـ الضياعات الناتجة عن الاحتكاك : ان الضياعات الناتجة عن الاحتكاك لمجرى مقطعه ثابت وعلى طول هذا المجرى ℓ تعطى بعلاقة Darcy – Weisbach بالشكل التالي

$$H = \Delta P_{fr} = f \cdot \frac{U}{4S} \cdot L \cdot \frac{W^2}{2g} \quad [m]$$

وبالنسبة للمقطع الدائرى $\Delta P_{fr} = f \cdot \frac{U}{4S} \cdot L \cdot \frac{W^2}{2} \cdot \rho \; [N/m^2]$

$$\Delta P_{fr} = f \cdot \frac{1}{d} \cdot L \cdot \frac{W^2}{2} \cdot \rho \; [N/m^2]$$

حيث f عامل الاحتكاك بالنسبة الى الضغط الكلي (بدون قياس)

U محيط مقطع الجريان بـ m

S سطح مقطع الجريان بـ m^2

L طول الانبوب بـ m

w السرعة الوسطية لجريان السائل m/s

d قطر الانبوب بـ $[m]$

ρ الكتلة النوعية $[kg/m^3]$

ان عامل الاحتكاك f يتعلق برقم Reynolds ومخشونة المجاري الداخلية والمصادر الالمانية تعطي القيم التالية

عند ما يكون الجريان منتظما اى $Re < 2320$ فان خشونة المجاري الداخلية ليس لها تأثير على الضياعات الناتجة عن الاحتكاك بل تتعلق فقط برقم رانبولس ويعطى بالعلاقة

$$f = \frac{64}{Re}$$

وعند ما يكون الجريان جائشا علينا ان نميز بين المجاري الملساء والمجاري الخشنة حيث نعتبر المجرى أملس اذا كان

$$\varepsilon = \frac{E}{d} \leq \frac{30}{Re^{0,875}}$$

حيث ε الخشونة النوعية

E الخشونة المطلقة للمجرى بـ $[m]$

d قطر الجريان الفعلي $[m]$

وتكون في هذه الحالة قيمة f معطاة بالمعادلة

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \frac{Re}{\sqrt{f}} - 0,8$$

ونعتبر المجرى خشنا اذا كان

$$\varepsilon = \frac{E}{d} > \frac{30}{Re^{0,875}}$$

وفي هذه الحالة وعندما يكون الجريان جائشا تون قيمة f معطـــــاة بعلاقـــــة Colebrook

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{E}{3,75d} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

والجدول التالي يبين قيمة f بالنسبة الى $\varepsilon = \frac{E}{d}$

الخشونة النوعية $\varepsilon = \frac{E}{d}$	عامل الاحتكاك f
0,00002	0,00901
0,00010	0,01197
0,00050	0,01669
0,00200	0,02339
0,00500	0,03033
0,0500	0,07142

ان بعض القيم التقديرية الى E و f نجدها فـــــي الجداول المخصصة لذلك. عندما نعوض قيمة f بالمعادلـــــة

$$\Delta P_{fr} = f \frac{L}{d} \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2}$$

نحصل على معادلة يمكننا منها حساب سرعة الجريان w بدلالة انخفـــــاض الضغط الكلي ورقم راينولس وعامل الاحتكاك والخشونة النوعية ومنها يمكننـــــا حســـــاب الكتلـــــة M

$$M = w \cdot S \cdot \rho$$

وهي معادلة كمية المادة بالنسبة الى السرعة والمقطع وفرق الضغط الناتـــــج عن الاحتكاك ورقم راينولس وعامل الاحتكاك وعامل الخشونة النوعية .

ان المعادلة التي نحصل عليها معقدة وغير مناسبة للحسابات، لذلك تستعمل معادلة اخرى تجريبية وهي معادلة Colobrook and White من سنة 1959 .

$$M = -2\,(N_1 \Delta P \rho d^5)^{0,5} \log\left[\frac{E}{3,7d} + \frac{N_2 \cdot d}{(N_1 \Delta P d^5)^{0,5}}\right]$$

$$V = -2\,(N_3 \Delta P \rho d^5)^{0,5} \log\left[\frac{E}{3,7 \cdot d} + \frac{N_4 \cdot d}{(N_3 \Delta P\, d^5)^{0,5}}\right]$$

حيث M التدفق بـ $[m^3/s]$

$$N_1 = \frac{\pi^2 \cdot \rho}{32} = 0,30842 \cdot \rho \quad ,$$

$\Delta P = R$ الضياع الضغطي الناتج عن الاحتكاك (انخفاض الضغط) لواحد متر $[Pa/m]$

قطر المجرى بـ $[m]$

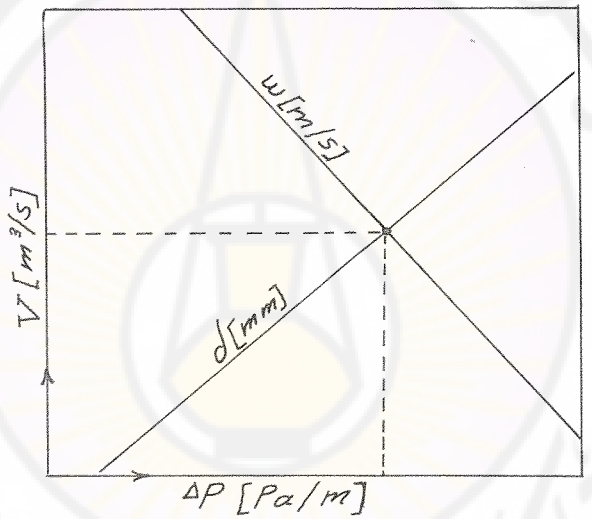
$$N_2 = \frac{1,255\ \pi \cdot \mu}{4} = 0,98567\,\mu$$

$$N_3 = \frac{\pi^2}{32\,\rho} = 0,30842\,\rho^{-1}$$

$$N_4 = \frac{1,255\,\pi\,\mu}{4\,\rho} = 0,98564\,\mu\,\rho^{-1}$$

ان المعادلة السابقة قد رسمت على مخطط استعمل فيه احداثيات لوغرتمية ويعطي علاقة مستقيمة بين كمية الهواء $[m^3/s]$ وقطر

المجرى $[m]$ والسرعة الوسطية للجريان $[m/s]$ وانخفاض الضغـــط $[P_a/m]$ كما يبينـــه الشـكل



ان المخطط الموجود في IHVE 1977 رسم من اجـــل د رجة حرارة الهواء مساوية الى $20\ c^\circ$ وضغط مساو الى $1013,25\ milibar$ في المجارى المزئبقة نوع تجارى . اما من اجل د رجات حرارة مخالفـــة الى $20\ c^\circ$ فتنطبق المعادلة التالية لحساب انخفاض الضغط

$$\Delta P_{l_2} = \Delta P_{l_{21}} \left(\frac{293}{273 + t_2} \right)^{0,857} = \Delta P_{l_{21}} E_1 \frac{293}{273 + t_2}$$

حيث E_1 عامل نجـــده في الجد اول .

كما ان المخطط الموجود في IHVE حسب من اجل مقطع دائرى ويمكن استعماله من اجل مقطع مستطيل او مربع باستعمال القطر المعادل • وهناك تعريفان للقطر المعادل :

أ — هو قطر المقطع الدائرى الذى له نفس انخفاض الضغط مثل المقطع المستطيل وعند ما تكون كمية الهواء متساوية في المقطع الدائرى وفي المقطع المستطيل •

ب — هو قطر المقطع الدائرى الذى له نفس انخفاض الضغط مثل المقطع المستطيل وعند ما تكون سرعة الجريان متساوية في المقطع الدائرى وفي المقطع المستطيل •

ان حساب ابعاد المجرى المستطيل بعد معرفة القطر المكافىء لهذا المجرى حسب التعريف الاول تعتمد على المعادلة التالية

$$d = 1,265 \left[\frac{(a \cdot b)^3}{a + b} \right]^{0,2}$$

وحساب ابعاد المجرى المستطيل بعد معرفة القطر المكافىء لهذا المجرى حسب التعريف الثاني تعتمد على هذه المعادلة

$$d = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b}$$

حيث a و b ابعاد هذا المجرى

١٤ ـ ١ ـ ٦ الضياعات الناتجة عن المقاومات المكانية : تنتج الضياعات الضغطية المكانية عن التشويش المكاني لجريان الموائع عند تغيير مجرى السائل او تغيير سرعته كما يحدث عند جريان المائع في الاكواع والاقواس والسكورة والصمامات .. وغيرها .

يحسب الضياع الضغطي المكاني من العلاقة

$$\Delta P_z = \zeta \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad (N/m^2)$$

$$\frac{\Delta P_z}{\rho . g} = \zeta \frac{w^2}{2g} \quad [m]$$

حيث ζ هو عامل المقاومة المكانية، ونجد قيمته من الجداول المخصصة لذلك

w السرعة الوسطية طبقا للمقطع m/s

ان العامل ζ يتعلق بالدرجة الاولى بالشكل الهندسي للمقاومة المكانية ورقم Re وتعين قيمته بالتجربة بالنسبة الى مقطع معين S وسرعة معينة w .

اما من اجل مقطع آخر S' وسرعة اخرى w' فانه يتم حساب العامل ζ' من المعادلة التالية

$$\zeta' = \zeta \left(\frac{w}{w'}\right)^2 = \zeta \left(\frac{S'}{S}\right)^2$$

من اجل المقطع الدائري

$$\zeta' = \zeta \left(\frac{d'}{d}\right)^4$$

الطول المكافئ : الضياع الضغطي المكاني يمكن تعويضه بالضياع الاحتكاكي الذي يحدث بمجرى مستقيم بطول مكافئ l_2 وذلك من معادلة تساوي الضياع الضغطي

$$f_D \frac{l_2}{d} \cdot \frac{\rho}{2} w^2 = \xi \frac{\rho}{2} w^2$$

$$l_2 = \frac{\xi}{f} \cdot d$$

مردود التحول : اذا فرضنا انه عند جريان مائع في مجرى تتغير سرعته من w_1 الى w_2 (بحيث ان $w_1 > w_2$) فان الضغط الستاتيكي مرتفع ، بالرجوع الى معادلة بيرنولي) .

عند ما يكون المائع كاملا ودون ضياعات ضغطية فان تحول الطاقة الحركية الى طاقة ضغطية يكون كاملا اى 100 % . وعند جريان السوائل الحقيقية فانه يحصل ضياعات ضغطية والنسبة

$$\eta = \frac{P_{s2} - P_{s1}}{\frac{\rho}{2}(w_1^2 - w_2^2)}$$

نسميها مردود التحول (من الضغط الديناميكي الى الضغط الستاتيكي) وعند تعويض $P_{s2} - P_{s1}$ من معادلة بيرنولي نحصل على

$$\eta = 1 - \frac{\Delta P_t}{\frac{\rho}{2}(w_1^2 - w_2^2)} = 1 - \frac{\xi}{1 - (\frac{S_1}{S_2})^2}$$

نفرض ان هذا المردود مساو الى 0,5 في الحسابات العملية .

١٤ ـ ١ ـ ٧ الضياعات الضغطية الكلية : ان الضياعات الضغطية الكلية تساوى الى مجموع الضياعات الضغطية الناتجة عن الاحتكاك والضياعات

الضغطية المكانيـــة

$$\Delta P_t = \Delta P_{tr} + \Delta P_z = (f.\frac{\ell}{d} + \Sigma\zeta)\frac{w^2}{2}.\rho \quad N/m^2$$

حيث $\Sigma\zeta$ المجموع الجبرى لعوامل الضياعات المكانية ٠

اذا كانت ζ معطاة قيمتها الى مقطع آخر غير المقطع الموجود لدينا والى سرعة اخرى غير السرعة الموجودة لدينا فيجب حساب ζ طبقا للمعادلـة السابقـــة ٠ هذا وفي بعض الاحيان يمكن تعويض المقاومات المكانيـــة بالطول المكافئ كما رأينا ، ويكون الضياع الكلي

$$\Delta P_t = \Delta P_{tr} + \Delta P_z = f_o \frac{\ell}{d}\frac{w^2}{2}.\rho + f.\frac{\ell_z}{d}\frac{w^2}{2}.\rho$$

$$= f.\frac{\ell+\ell_z}{d}.\frac{w^2}{2}\rho = (\ell+\ell_z).\Delta P_\ell$$

١٤ ــ ٢ الطرق العملية لحساب مجارى الهواء :

ان حساب مجارى الهواء يتضمـــن

آ ــ حساب ابعاد المجرى ، اى حساب القطر بالنسبة للمجارى الدائرية وحساب الطول والعرض بالنسبة للمجارى المستطيلة ٠

ب ــ حساب التوازن الضغطي للشبكية بحيث تكون كمية الهواء في جميـــع فروع المجارى طبقا لما هو مطلوب ٠

جـ ــ حســاب ضغط المروحـــة ٠

وتستعمل لحساب مجارى الهواء عدة طرق هي :

١ ــ طريقة انخفاض ضغط ثابت Equal Friction Method

٢ ــ طريقة انخفاض السرعـة Velocity Reduction Method

٣ ـ طريقة الربح الستاتيكي Static Regain Method

٤ ـ طريقة السرعة الثابتة Constant Velocity Method

٥ ـ طريقة الضغط الستاتيكي Velocity Pressure Method

٦ ـ بواسطة الآلات الحاسبة

وتستعمل هذه الطريقة او تلك طبقا الى نوع التكييف وطبقا الى تعقيد او سهولة تفرعات هذه المجارى ٠

سنشرح بالتفصيل الطرق الاولى والثانية والثالثة ٠

١٤ ـ ٢ ـ ١ حساب ابعاد المجارى بطريقة انخفاض ضغط ثابت:

ان هذه الطريقة تعتمد على اختيار انخفاض ضغط ثابت لكل متر ΔP_l في شبكة توزيع الهواء مع الاخذ بعين الاعتبار سرعة جريان الهواء بحيث لا تزيد عن سرعة معينة كما سنشرح لاحقا ٠

اما قيمة انخفاض الضغط فيمكن اختيارها طبقا لما يلي

عند تمديدات مجارى بضغط منخفض $\Delta P_l = 0,5 \div 0,8 \div 1,2\ N/m^2/m$

" " " متوسط $\Delta P_l = 1,6 \div 2,5\ N/m^2/m$

" " " عال $\Delta P_l = \quad \div 4\ N/m^2/m$

وان القيمة الاقتصادية الى ΔP_l تتعلق بنوع جهاز التكييف والتدفق الاعظمي للهواء وعدد ساعات التشغيل ويعطي الجدول التالي بعض القيم المقترحة عند تعيين ΔP_l ٠

التدفق الاعظمي للهواء بعد المروحة مباشرة $[m^3/h]$												عدد ساعات التشغيل في اليوم hour/day
1	2	3	4	5	7	10	20	30	40	50		
انخفاض الضغط المقترح $\Delta Pe\ [N/m^2/m]$												
5	3,5	2,8	2,5	2,2	1,7	1,5	1,0	0,8	0,7	0,6		4
2,8	1,8	1,5	1,3	1,2	1,0	0,8	0,6	0,45	0,4	0,35		8
1,6	1,3	1,0	0,85	0,75	0,65	0,55	0,35	0,30	0,25	0,22		12
1	0,7	0,6	0,5	0,45	0,37	0,3	0,22	0,18	0,15	0,14		24

وعند تدفق ثابت للهواء وعند اختيار انخفاض ضغط مختلف نحصل على مقاطع مختلفة

$$S_1 : S_2 : S_3 = 1 : 0,64 : 0,36$$

$$D_1 : D_2 : D_3 = 1 : 0,8 : 0,6$$

$$\Delta P_{l_1} : \Delta P_{l_2} : \Delta P_{l_3} =$$

بعد تعيين وحساب جميع المقاطع الرئيسية والفرعية نحسب الضياع الضغطي الكلي لأبعد نقطة عن المروحة حيث يكون ذلك الضغط الكلي للمروحة

$$\Delta P_t = \Delta P_l \ (l + l_2)$$

حيث l طول المجرى الرئيسي بـ $[m]$

l_2 الطول المكافئ للضياعات الميكانيكية الضغطية الموجود في المجرى الرئيسي بـ $[m]$

وفي بعض الاحيان يكون الضغط الكلي للمجرى الرئيسي معطى مقدما وعلينا حساب اقطار المجارى بحيث تستهلك هذا الضغط كما يحدث من اجل Packaged Equipment .

من تقدير الطول الرئيسي للمجرى (المجرى الذى له اكبر مقاومة) والطول المكافئ للضياعات المكانية الضغطية نحسب انخفاض الضغط الناتج عن الاحتكاك لواحد متر من العلاقة

$$\Delta P_t = \frac{\Delta P_t}{l + l_2}$$

ثم نحسب مقطع المجرى وسرعته كما هو مشروح سابقا . ويجب عند اتباع هذه الطريقة الاخذ بعين الاعتبار الربح من الضغط الستاتيكي الذى يحدث

عند ما تنقص سرعة الجريان من w_1 الى w_2 خاصة عند السرعات العالية ، حيث يبلغ هذا الربح قيمة

$$\Delta p_s = (w_1^2 - w_2^2) \frac{\rho}{2} \cdot \eta$$

ان ضعف هذه الطريقة لحساب المجارى هو وجوب التعبير عن الضياعات المكانية الضغطية الى الوصلات (fittings) بالمتر الطولي .

١٤ ـ ٢ ـ ٢ حساب ابعاد المجارى بطريقة انخفاض السرعة :

تستعمل هذه الطريقة بشكل عام عند حساب مجارى الهواء لأجهزة التكييف والتهوية بضغط منخفض . وتعتمد على اختيار سرعات مناسبة في المجرى الرئيسي وفي المجارى الفرعية ، بحيث يكون اختيار هذه السرعات طبقا للقيم التي توصي بها الشركات الصانعة وطبقا للتجارب وبعد الاخذ بعين الاعتبار طول المجرى ، التدفق ، الضجيج ، الكلفة .

والجدول التالي يبين بعض القيم الموصى بها

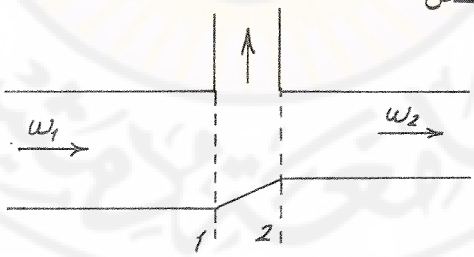
نوع الجهاز	السرعة m/s			
	المجرى الرئيسي		المجارى الفرعية	
	السرعة الموصى بها	السرعة العظمى	السرعة الموصى بها	السرعة العظمى
تكييف بضغط منخفض في الابنية				
المسكونة	3,5 ÷ 4,5	6	3	5
العامة	5 ÷ 6,5	8	3 ÷ 4,5	6,5
الصناعية	6 ÷ 9	11	4 ÷ 5	9
تكييف بضغط عال	8 ÷ 12,7	25 ÷ 30	10	22,3

علما بان اعلى سرعة يتم اختيارها بعد المروحة مباشرة ثم تتناقص هذه السرعة بالتدريج وذلك في المجرى الرئيسي (اى المجرى ذى اكبر مقاومة ضغطية) في معرفة التدفق واختيار سرعة الهواء يتم حساب مقطع المجرى من العلاقة

$$S = \frac{V}{w}$$

ثم نحسب الضياعات الضغطية في اجزاء الدارة وتجمع الضياعات الكلية لكل جزء . بعد ذلك علينا دراسة توازن الشبكة وذلك بزيادة او انقاص السرعة للوصول الى التوازن الضغطي المطلوب .

١٤ ـ ٢ ـ ٣ حساب ابعاد المجارى بطريقة الربح الستاتيكي : عند جريان الهواء في المجارى فان سرعته تتناقص بعد كل قسم وينتج عن ذلك تحول الضغط الديناميكي الى ضغط ستاتيكي . فعند جريان الهواء في مقطع حسب الشكل



فانه تنطبق معادلة بيرنولي قبل وبعد التفرع مباشرة

$$P_{S1} + P_{V1} = P_{S2} + P_{V2} + \Delta P_z$$

$$\Delta P_z = \zeta_1 \frac{\rho}{2} w_1^2 = \zeta_1 P_{V1}$$

حيث ζ_1 تشمل الضياع نتيجة التضيق في الجريان ونتيجة التفرع .

حيث ξ_1 عامل الضياع ويشمل الضياع الضغطي نتيجة التضيق في الجريان ونتيجة التفرع.

ان زيادة (ربح) الضغط الستاتيكي يمكن التعبير عنه بواسطة مردود التحول بالمعادلة التالية

$$P_{s2} - P_{s1} = \Delta P_s = \eta (P_{d1} - P_{d2})$$

حيث مردود التحول كما رأينا يساوى الى

$$\eta = 1 - \frac{\xi_1}{1 - \left(\frac{w_2}{w_1}\right)^2}$$

عند تصميم المجارى بهذه الطريقة نحافظ على الضغط الستاتيكي عند ابتداء كل تفريعة بشكل متساو وثابت، وان انخفاض الضغط الديناميكي يجب ان يعوض الضياع الضغطي الذى يحصل على طول المجرى من $\acute{2} - 2$ ، اى انه للمحافظة على الضغط الستاتيكي بنهاية المجرى $\acute{2}$ مساويا الى الضغط الستاتيكي P_{s1} قبل التفريعة وعند ابتداء المجرى ، يجب ان تكون الضياعات الضغطية لهذا المجرى معوضة بالربح الستاتيكي الناتج عن تغير السرعة من الى ، اى الضياعات

$$\Delta P_s = \Delta P_{f\,2-\acute{2}} = \ell_{2\acute{2}} \Delta P_\ell$$

١٥ مراوح الهواء

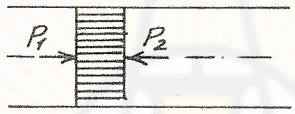
تعتبر المراوح من الاقسام الرئيسية لاجهزة التكييف والتهوية حيث يقال لها بأنها القلب لأى جهاز تكييف The Heart of Any Air-Conditioning Sys. ان المراوح عبارة عن مضخات هوائية تتغلب عن فرق الضغط وتؤدى الى جريان الهواء. ان ضغط الهواء في المراوح سببه التأثير الديناميكي للشفرات على الهواء. وان هذا التأثير يتعلق بالسرعة النسبية للهواء بالنسبة الى الشفرات ويظهر فقط عند دوران المروحة rotor ، كما ان جهة امتصاص الهواء متصلة مع جهة طرد الهواء .

١٥ ـ ١ تعريف المراوح والرموز الاساسية لها : ان المراوح هي آلات دورانية ذات شفرات وتخصص لنقل مستمر للهواء عند نسبة انضغاط صغيرة (حيث ان نسبة الانضغاط هي النسبة بين الضغط الكلي عند المخرج على الضغط الكلي عند المدخل). ان نسبة الانضغاط تتراوح بين 1,1 ÷ 1,01 وفي بعض الاحيان تصل لغاية 1,3 وبحالات نادرة وعند وجود عدة مراحل تصل الى 1,5 .

ان الجزء الدوار من المراوح يعطي الهواء قدرة ميكانيكية ، وان زيادة هذه القدرة الى حجم 1 m^3 من الهواء يؤدى الى زيادة الضغط الكلي للهواء عند مروره في المروحة ويرمز له بـ ΔPt او FTP . ويمكننا اعتبار ان التحول isochor عند ما تكون نسبة الانضغاط اقل من 1,03 اما عند ما تكون هذه النسبة اكبر من 1,03 فان التحول يمكن اعتباره adiabat .

ان الضغط الكلي للمروحة FTP او ΔP_t يتعلق بقطر المروحة الخارجي d_2 وبعدد دوراتها n والكتلة النوعية للهواء ρ وتدفق الهواء $V\ [m^3/s]$.

ان الطاقة الميكانيكية المعطاة الى الهواء في حالة الجريان يمكن تصورها وكأنها مكافئة الى العمل الذي يقوم مكبس سطحه S ويتحرك في مجرى دائري ضد ضغط P_2 .



فعندما يتحرك هذا المكبس بمقدار ℓ خلال زمن τ فان الاستطاعة يمكن التعبير عنها بالمعادلة التالية

$$N = \frac{(P_2 - P_1) S \cdot \ell}{\tau} = \frac{\Delta P \cdot S \cdot \ell}{\tau} = \Delta P \cdot V\ [W]$$

ان هذه العلاقة يمكن تطبيقها للتعبير عن استطاعة المروحة عند الافتراض بان التحول هو $isochor$

$$N_F = \Delta P_t \cdot V = FTP \cdot V$$

حيث V هو تدفق الهواء خلال المروحة $[m^3/s]$

ΔP_t هو الضغط الكلي للمروحة

وباعتبار انه توجد ضياعات داخلية في المروحة فان زيادة الطاقة لوحدة الحجوم من الهواء عند مرورها (من الامتصاص الى الانضغاط) في المروحة تكون اقل من الطاقة المعطاة الى المروحة لنقل هذه الكمية من

الهواء . ان نسبة هاتين الطاقتين يعبر عنها بالمردود الكلي للمروحة η_t وتعبر عن المواصفات الايرودينامكية للمروحة

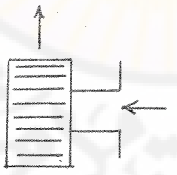
$$\eta_t = \frac{N_F}{\acute{N}_F}$$

حيث $\acute{N}_F$ هو استطاعة محرك المروحة بـ N .

١٥ ـ ٢ ، تصنيف المراوح : يمكننا ان نصنف المراوح طبقا الى عدة مواصفات وهي

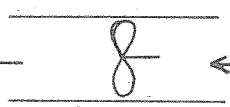
١ ـ يمكن تصنيفها طبقا الى طريقة التصميم الى ما يلي :

أ ـ المراوح الطاردة المركزية Centrifugal Fan : حيث يدخل الهواء الى المروحة بشكل محوري ويخرج منها بشكل عمودي على هذا المحور كما يبينه الشكل (اى اتجاه السرعة يتغير)



مروحة طاردة مركزية

ب ـ المراوح المحورية Axial Flow Fan : حيث يدخل الهواء الى المروحة بشكل محوري ويخرج منها ايضا بشكل محوري كما هو موضح في الشكل



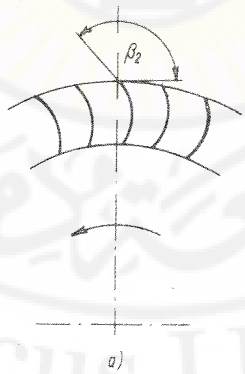
جـ ـ المراوح المنحرفـــة Diagonal Fans : حيـــث يكون دخول الهواء (اتجاه السرعة) موازيا تقريبا الى محـــور الدوران ، ويكون اتجاه السرعة عند خروج الهواء مائلا عـــن محور الدوران .

٢ ـ طبقا الى شكل شفرات المروحـة يمكن تصنيفها الى :

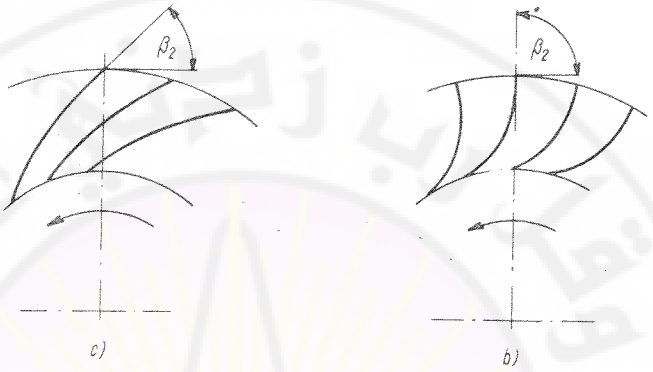
آ ـ شفرات منحنية الى الامام ، اى $\beta_2 > 90^\circ$

ب ـ شفرات منحنية الى الخلف ، اى $\beta_2 < 90^\circ$

جـ ـ شفرات منحية بشكل قطرى ، اى $\beta_2 = 90^\circ$



شـــفرات منحنيـــة الى الامـــام
Forward Curved Blades



شـــــفرات قطريـــــــة Straight-Radial Blades

شـــفرات منحنية الى الخلـف Backward Curved Blades

٣ ـ طبقا الى ضغط المروحة الكلي يمكن تصنيفها الى :

أ ـ مراوح بضغط منخفض ، اى من $\Delta P_t = 0 \div 1000\ P_a$

ب ـ مراوح بضغط متوســـط $\Delta P_t = 1000 \div 3000\ P_a$

جـ ـ مراوح بضـــغط عـــال $\Delta P_t = 3000 \div 10000\ P_a$

٤ ـ طبقا الى عدد المراحل فانه يمكن تصنيفها الى :

أ ـ مراوح بمرحلـــة واحدة .

ب ـ مراوح بعدة مراحل .

حيث المرحلة الواحدة تتألف من ثابت ومتحرك وثابت وفي بعض الاحيان تتألف من ثابت ومتحرك فقط (بالنسبة الى المـــراوح المحورية) .

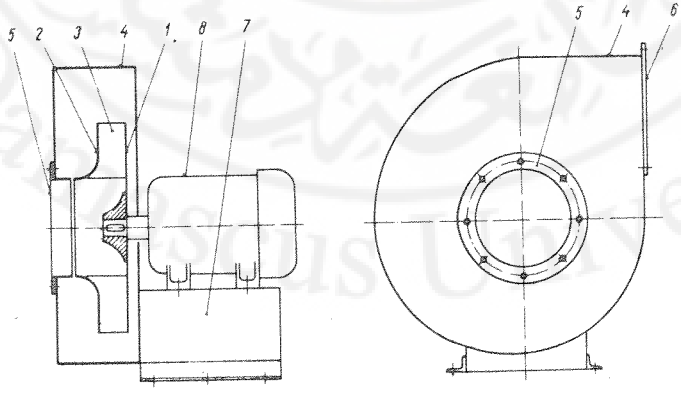
١٥ ـ ٣ ـ ٣ الاجزاء الرئيسية التي تتألف منها المراوح : ان المراوح تتألف عادة من الاجزاء الرئيسية التالية :

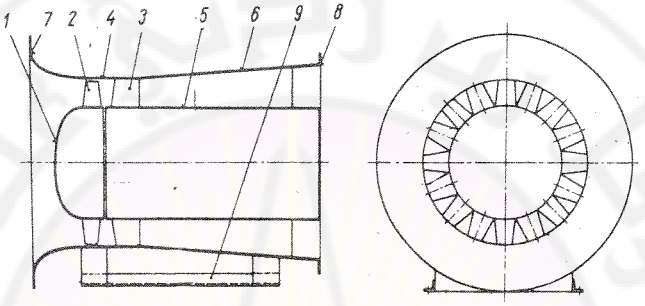
ـ الهيكل casing 4 وهو القسم الثابت من المروحة الذى يوجه الهواء من والى الدافع ويكون اما بشكل diffuser بالنسبة الى المراوح المحورية او بشكل حلزوني spiral بالنسبة الى المراوح الطاردة المركزية .

ـ الدافع impeller 3 وهو القسم من المروحة الذى يؤدى دوره الى تحريك الهواء .

ـ الدوار rotor وهو يتألف من دافع او اكثر ومن محور وسير او واصلة .

ـ الموجه Guide Vanes وهي شفرات موجهة ثابتة عند المدخل او المخرج للدافع، والغاية منها التوجيه الصحيح للهواء للحصول على اعلى مردود لها .





١٥ ـ ٣ ـ ٤ الموصفات التي تميز المراوح :

ان الرموز التي تميز المراوح والتي تستعمل عند حسابها هي

١ ـ ـ الضغط الستاتيكي عند المدخل او المخرج للمروحة P_s او Static Pressure [SP] .

ـ الضغط الديناميكي عند المدخل او المخرج للمروحة P_v او Velocity Pressure [VP] .

ـ الضغط الكلي عند المدخل او المخرج للمروحة P_t او Total Pressure [TP] .

ـ ضغط المروحة الستاتيكي Fan Static Pressure FSP

ـ ضغط المروحة الديناميكي Fan Velocity Pressure FVP

ـ ضغط المروحة الكلي Fan Total Pressure FTP

ان هذه الرموز تتعلق ببعضها بالمعادلات التالية وحسب تعريفها :

١ ـ $TP = SP + VP$ عند المدخل او المخرج .

٢ ـ $FTP = TP \text{ at fan outlet} - TP \text{ at fan inlet}$

٣ ـ $FSP = SP \text{ at fan outlet} - TP \text{ at fan inlet}$

$= TP \text{ at fan outlet} - VP \text{ at fan outlet} - TP \text{ at fan inlet}$

$= FTP - VP \text{ at fan outlet}$

٢ ـ تدفق المروحة Volume Flow Rate $V[m^3/s]$

وهي الكمية الحجمية للهواء بـ $[m^3/s]$ التي تدفعها المروحة محسوبة طبقا لمواصفات الهواء من جهة الامتصاص .

٣ ـ استطاعة المروحة Power Output of a Fan

وهي كما شرحناها سابقا تتعلق بتدفق المروحة وبالضغط الكلي لها

$$N_F = FTP . V$$

٤ ـ استطاعة المروحة المستهلكة Power Input to a Fan

وهي الطاقة المعطاة الى محور المروحة $\acute{N}_F$

٥ ـ المردود الميكانيكي للمروحة Mechanical Efficiency of a Fan

وهو النسبة بين استطاعة المروحة المأخوذة الى استطاعة المروحة المعطاة

$$\eta = N_F / \acute{N}_F$$

٦ ـ المردود الستاتيكي للمروحة Static Efficiency of a Fan

وهي المردود الميكانيكي للمروحة مضروبا بالنسبة $\frac{FSP}{FTP}$

١٥ ـ ٣ ـ ٥ المعادلة الرئيسية للمراوح :

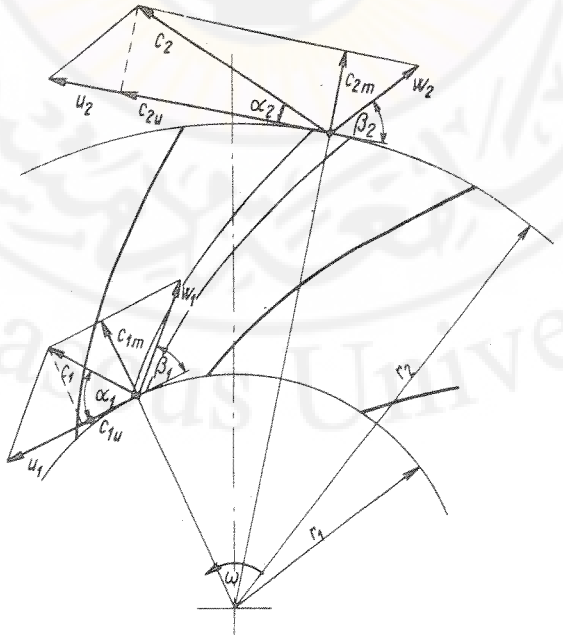
من معادلة Euler يمكننا اشتقاق المعادلة التي تعطينا الضغط الكلي النظري للمروحة FTP وذلك بالنسبة الى مثلث السرعة عند مدخل الهواء ومثلث السرعة للهواء عند مخرج المروحة

$$\Delta P_{t\infty} = \frac{\rho}{2}\underbrace{[(u_2^2 - u_1^2) + (w_1^2 - w_2^2)}_{\text{الضغط الديناميكي}} + \underbrace{(c_2^2 - c_1^2)]}_{\text{الضغط الستاتيكي}}$$

$$\Delta P_{t\infty} = \frac{\rho}{2}[(u_2^2 + c_2^2 - w_2^2) - (u_1^2 + c_1^2 - w_1^2)$$

$$w_2^2 = c_2^2 + u_2^2 - 2\,u_2 \cdot c_2 \cos\alpha_2$$

$$u_2^2 + c_2^2 - w_2^2 = 2\,u_2 c_2 \cos\alpha_2 = 2\,u_2 \cdot c_{2u}$$



ومنه $$\Delta P_{t\infty} = \rho (u_2 \cdot c_{2u} - u_1 \cdot c_{1u})$$

وعند ما تكون $c_{1u} = 0$ تصبح المعادلة بالشكل التالي :

$$\Delta P_{t\infty} = \rho u_2 \cdot c_{2u}$$

من المعادلة السابقة فان الحد الاول الذى هو فرق السرعات المحيطية يعبر عن زيادة الضغط الستاتيكي في فراش المروحة من تأثير القوى النابذة وان وجوده لا يسبب اية ضياعات (ان هذا الحد يساوى الى الصفر في المراوح المحورية) .

اما الحد الثاني الذى هو فرق السرعات النسبية فيعبر عن زيادة الضغط الستاتيكي في فراش المروحة من تأثير ابطاء الجريان عند جريانه بين الشفرات باعتبار ان $w_1 > w_2$.

اما الحد الثالث الذى هو فرق السرعات المطلقة فيعبر عن زيادة الطاقة الحركية لتيار الهواء عند مروره بين شفرات المروحة .

ان هذا الحد يمكن تحويل قسم من طاقته الحركية (اى ضغطه الديناميكي) بعد فراش المروحة الى ضغط ستاتيكي وذلك بتقليل سرعة الجريان للهواء بشكل متدرج وبواسطة مكبر او حلزون يوضع بعد خروج الهواء من فراش المروحة مباشرة ، علما بأن هذا التحويل يكون مصحوبا بضياعات ضغطية اذا لم يكن تصميمه جيدا .

ان مثلث السرعة عند دخول تيار الهواء يصمم في اكثر الاحيان بحيث تكون $\alpha_1 = 90^\circ$ حيث تكون $c_{1u} = 0$ ومنه يكون

$$\Delta P_{t\infty} = \rho u_2 \cdot c_{2u}$$

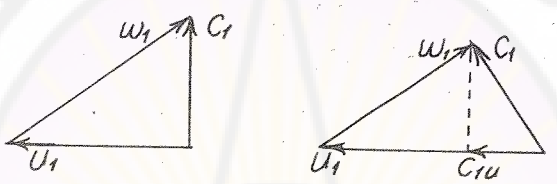
هذا وان قيمة c_{2u} تختلف باختلاف الزاوية β_2

فعند مـــا تكون $\beta_2 < 90$ فان $c_{2u} < u_2$

وعند مـــا تكون $\beta_2 = 90$ فان $c_{2u} = u_2$

وعند مـــا تكون $\beta_2 > 90$ فان $c_{2u} > u_2$

$\alpha = 90^\circ$ $\alpha \neq 90$



مســـــألـــــة : احسب الضغط الكلي النظـري لمروحة منتهية بشـــكل قطري اذا كانت السرعة المحيطية لها $u_2 = 25\ m/s$ وعند ما تكون $\alpha_1 = 90^\circ$

$$\Delta P_{t\infty} = \rho u_2 \cdot c_{2u} = \rho \cdot u_2 \cdot u_2 = \rho u_2^2$$

$$= 1{,}2\ (25)^2 = 750\ N/m^2$$

ان الضغط الكلي النظرى للمروحة يختلف عن الضغط الكلـــي الحقيقي للمروحة وذلك بسبب وجود الضياعات الناتجة في المروحـــة وهي

أ ـ الضياعات الضغطية الناتجة عن وجود عدد محدود من الشفرات

ب ـ الضياعات الضغطية عند تحويل السرعة c_2 في الحلزون او المخروط بعد المروحة الى سرعة c_3 حيث تكون c_3 اصغر من c_2

جـ ـ الضياعات الضغطية في فراش المروحة وبين الشفرات نتيجة الاحتكاك وانقطاع تيار الجريـــان .

د ـ الضياعات الضغطية عند دخول الهواء الى المروحة

هـ ـ الضياعات الميكانيكية عند احتكاك الدافع مع الهواء والضياعات فـــي المضاجع وغيرهـــــا

ويتراوح المردود الكلي للمروحـــــة

$\eta_t = 0,6 \div 0,8 \div 0,9$ بالنسبة للمراوح الكبيرة الحجم

$\eta_t = 0,5 \div 0,6$ بالنسبة للمراوح المتوسطة الحجم

$\eta_t = 0,3 \div 0,5$ بالنسبة للمراوح الصغيرة الحجم

١٥ ــ ٦ ــ قوانين المروحـــة The Fan Laws : باعتبارانا لـن نستغرق في شرح المراوح بشكلها النظرى اورد فيما يلي القوانين المتعلقـــة بالمراوح والتي تستعمل في اجهزة التكييف وتسمى ايضا علاقات التشـابه فاذا كانت لدينا مروحة مركبة في مجرى وتعطي كمية من الهواء $V_1\ [m^3/s]$ وضغطها الكلي $\Delta P_t\ [N/m^2]$ واستطاعتها $N_1\ [KW]$ عند عدد من الدورات $n_1\ [1/s]$. والمطلوب حساب رموز المروحـة عند عدد آخر من الدورات $n_2\ [1/s]$ فان القوانين التاليـة تنطبق على المراوح .

١ ــ ان حجم الهواء الذى تعطيه المروحة يتناسب مع عدد دوراتهـــا

$V = \sim n$

$$V_2 = V_1 \frac{n_2}{n_1}$$

٢ ــ ان الضغط الكلي للمروحة يتناسب مع مربع عدد دوراتها $\Delta P_t = \sim n^2$

$$\Delta P_{t2} = \Delta P_{t1} \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$$

٣ ــ ان استطاعة المروحة تتناسب مع مكعب عدد دوراتها $N = \sim n^3$

$$N_2 = N_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3$$

اما اذا كانت لدينا مروحة تعطي كمية من الهواء V_1 والضغط

الكلي لها ΔPt_1 والاستطاعة المستهلكة N_1 وقطر الدافع الخارجي d_1 . والمطلوب حساب هذه الرموز الايرودينامية لقطر خارجي آخر للدافع d_2 عند نفس عدد الدورات فان علاقات التشابه التالية تنطبق على المروحة

$$V_2 = V_1 \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^3$$

$$\Delta Pt_2 = \Delta Pt_1 \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$$

$$N_2 = N_1 \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^5$$

اما عند تغيير عدد دورات الدافع وقطر الدافع للمروحة (اى مقياس المروحة) فان المعادلات التالية تنطبق عند حساب رموز المروحة الايرودينامية

$$V_2 = V_1 \frac{n_2}{n_1} \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^3$$

$$\Delta Pt_2 = \Delta Pt_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \cdot \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$$

$$N_2 = N_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \cdot \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^5$$

هذا وان الجدول التالي يبين علاقات التشابه بالنسبة الى حجم المروحة وعدد دوراتها n وكثافة الهواء ρ وتدفق المروحة V والضغط الكلي FTP والاستطاعة N وارتفاع الضجيج L_w والمردود η

ان هذه القوانين تفيدنا لمعرفة مواصفات اى مروحة من اللائحة serie عند معرفة مواصفات مروحة واحدة .

1) $V_2 = V_1 \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^3 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^1$

2) $\Delta P_{t2} = \Delta P_1 \cdot \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)^1$

3) $N_2 = N_1 \cdot \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^5 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \cdot \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)$

4) $L_{w2} = L_{w1} - 70 \log \left(\frac{d_1}{d_1}\right) - 50 \log \frac{n_1}{n_1} - 20 \log \frac{\rho_1}{\rho_2}$

5) $V_2 = V_1 \cdot \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 \cdot \left(\frac{\Delta P_{t2}}{\Delta P_{t1}}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)^{\frac{1}{2}}$

6) $n_2 = n_1 \cdot \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^1 \cdot \left(\frac{\Delta P_{t2}}{\Delta P_{t1}}\right)^{3/2} \cdot \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)^{1/4}$

7) $N_2 = N_1 \cdot \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 \cdot \left(\frac{\Delta P_{t2}}{\Delta P_{t1}}\right)^{3/2} \cdot \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)^{1/2}$

8) $L_{w2} = L_{w1} - 20 \log \left(\frac{d_1}{d_2}\right) - 25 \log \left(\frac{\Delta P_{t1}}{\Delta P_{t2}}\right) + 5 \log \frac{\rho_1}{\rho_2}$

9) $d_2 = d_1 \cdot \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\Delta P_{t1}}{\Delta P_{t2}}\right)^{1/4} \cdot \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)^{1/4}$

10) $n_2 = n_1 \cdot \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\Delta P_{t2}}{\Delta P_{t1}}\right)^{\frac{3}{4}} \cdot \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)^{3/4}$

11) $N_2 = N_1 \cdot \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^1 \cdot \left(\frac{\Delta P_{t2}}{\Delta P_{t1}}\right)^1$

12) $L_{w2} = L_{w1} - 10 \log \left(\frac{V_1}{V_2}\right) - 20 \log \left(\frac{\Delta P_{t1}}{\Delta P_{t2}}\right)$

١٥ ـ ٧ ـ المنحنيات المميزة للمراوح :

ان المنحنيات المميزة للمراوح تبين العلاقة بين الرموز الايرودينامكية الاساسية للمروحة والرموز الاستطلاعية الاخرى لها بالنسبة الى التدفق اى

$\Delta Pt = f(V)$ يسمى المنحني المميز للضغط الكلي

$\eta = f(V)$ يسمى المنحني المميز للمردود

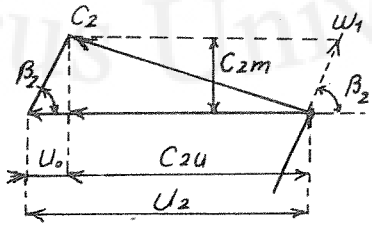
$N_F = f(V)$ يسمى المنحني المميز للاستطاعة

ان المنحنيات المميزة الحقيقية للمروحة تعين بالتجربة وتعطى من قبل الصانع. اما المنحنيات المميزة النظرية فيمكن اشتقاقها من المعادلات السابقة مع بعض الفرضيات النظرية لتسهيل الحساب ، فمثلا المنحني النظرى المميز للضغط الكلي ، اى $\Delta Pt = f(V)$ يمكن اشتقاقه بفرض عدد لا متناهي من الشفرات وعند فرض ان $\alpha_1 = 90^\circ$

$$\Delta Pt_\infty = \rho u_2 \cdot c_{2u}$$

$$tg\beta_2 = \frac{c_{2m}}{u_0} \rightarrow u_0 = \frac{c_{2m}}{tg\beta_2}$$

$$c_{2u} = u_2 - u_0 = u_2 - \frac{c_{2m}}{tg\beta_2}$$



نعبر عن السرعة c_{2m} من معادلة الاستمرار ومن معرفة القطر الخارجي للدافع

بالنسبة الى المراوح الطاردة المركزية $c_{2m} = \frac{V}{\pi d_2 \cdot b_2}$

بالنسبة الى المراوح المحورية $c_{2m} = \frac{V}{\frac{\pi}{4}(d_2^2 - d_1^2)}$

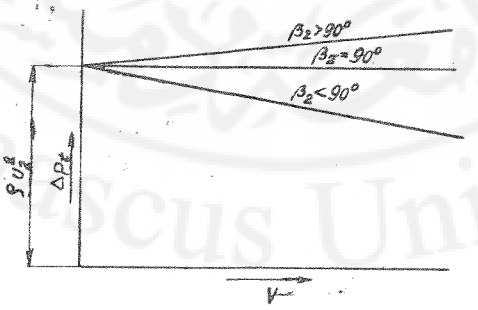
بعد التعويض في المعادلة السابقة نحصل على المعادلة

بالنسبة للمراوح الطاردة المركزية

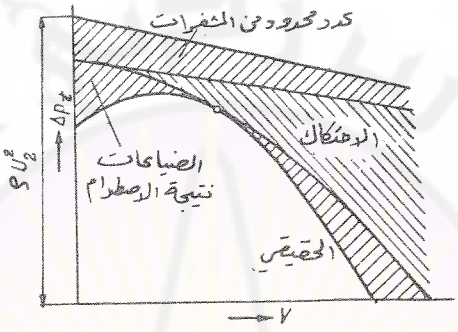
$$\Delta P_{t\infty} = \rho u_2 \left(u_2 - \frac{V}{\pi \cdot d_2 \cdot b_2 \cdot tg\, \beta_2} \right)$$

بالنسبة للمراوح المحورية $\Delta P_{t\infty} = z\, \rho u \left(u \frac{V}{\frac{\pi}{4}(d_2^2 - d_1^2) tg\, \beta_2} \right)$

ان هاتين المعادلتين تمثلان معادلة مستقيم في الاحداثيات $\Delta P_t - V$ ولهذا فان المنحني الضغطي الحجمي pressure - volume للمروحة النظرية هو مستقيم وان ميل هذا المستقيم يتعلق بقيمة الزاوية β_2 كما هو موضح في الشكل



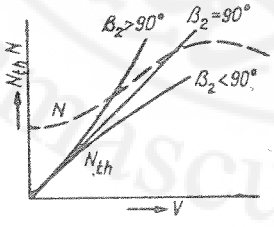
ان هذا المنحني النظرى يختلف عن المنحنى الحقيقي للمراوح وذلك لوجود الضياعات الضغطية كما يبينه الشكل التالي :

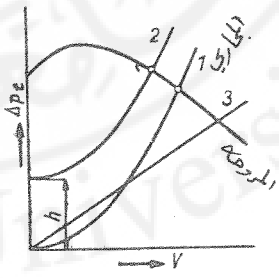


اما المنحني النظرى المميز للاستطاعة $N=f(V)$ فانه يعطى بالعلاقة

$$N = V.\Delta P_\infty = \rho V u_2^2 - \rho V^2 \frac{u_2 \cot g \beta_2}{\pi . d_2 . b_2}$$

ان معادلة هذه العلاقة في الاحداثيات $N-V$ هي بشكل عام قطـــــع مكافئ ويختلف شكله باختلاف الزاوية β_2 كما هو واضح في الشكل

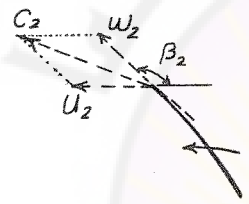


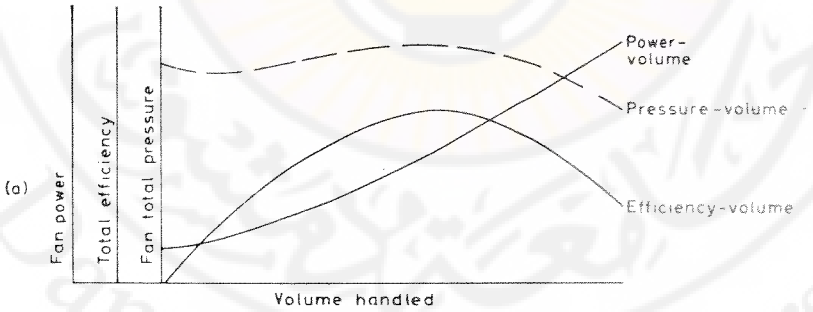


علما بأن المنحني المميز الحقيقي يختلف عن المنحني المميز النظرى حيـــث انه عند ما تكون $V=0$ فان المروحة تحتاج الى قيمة معينة من الاستطاعـــــة

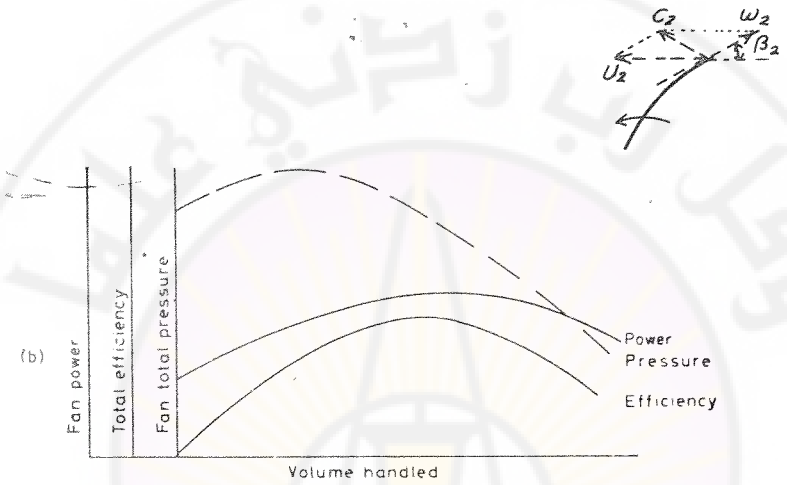
١٥ ـ ٨ ـ المنحنيات المميزة الحقيقية للمراوح :

ان علاقة الضغط الكلي والاستطاعة المعطاة للمروحة Fan Power والمردود الكلي بالنسبة الى الحجم الحقيقية للمراوح تعين من قبل الصانع مباشرة وتعطى مع كاتالوك المروحة ومبينة في الاشكال التالية من اجل بعض الانواع الدارجة من المراوح



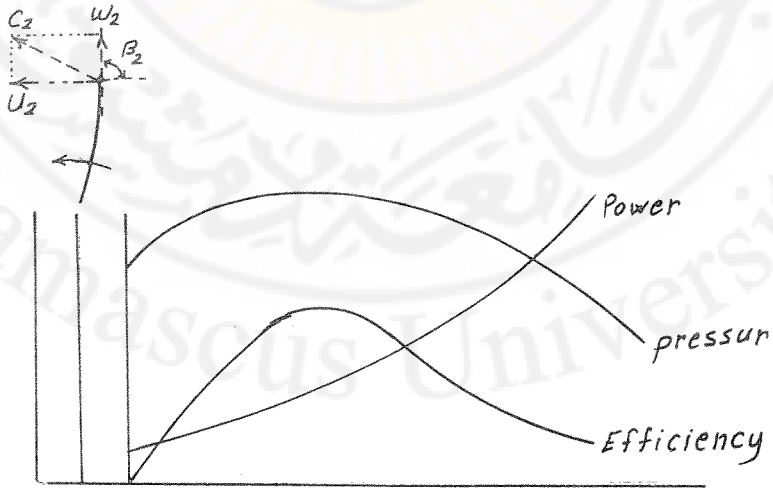


مراوح ذات شفرات منحنية الى الامام
Forward curved fan

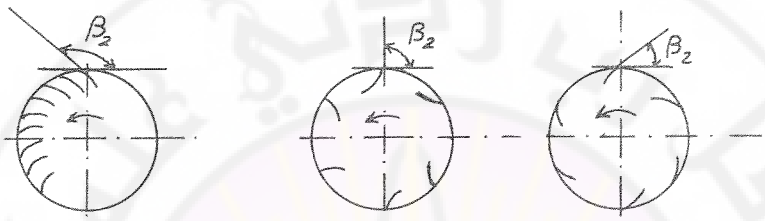


مراوح ذات شفرات منحنية الى الخلف

Backward curved fan



مراوح ذات شـــــفرات



منحنية الى الخلف $\beta_2 < 90$ | قطرية $\beta_2 = 90$ | منحنية الى الامام $\beta_2 > 90 \div 180$

١٥ ـ ٣ ـ ٩ المنحنى المميز لمجارى الهواء : ان العلاقة التي تربط بين انخفاض الضغط (مع المقاومة المكانية) وكمية الهواء التي تساق في هذه المجارى تسمى المنحني المميز للمجارى، اى systems characteristic من التجارب فان هذه العلاقة هي بالشكل التالي عند ما يكون الجريان جائشا

$$\Delta P_{system} = C \cdot V^2$$

ان هذه المعادلة في الاحداثيات $\Delta P - V$ تمثل قطعا مكافئا. اما عند ما يكون الجريان منتظما فان العلاقة التالية هي الاكثر استعمالا

$$\Delta P_{system} = C \cdot V$$

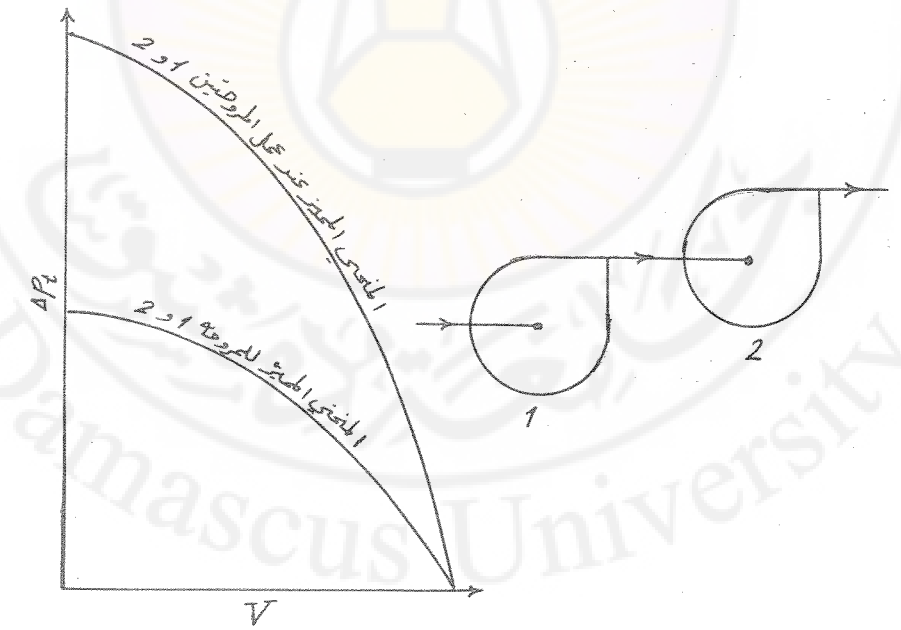
هذا ويمكن تصور مقاومة المجارى مع المقاومات المكانية وكأنها مقاومة الى بخاخ موجودة في جهة دفع الهواء . ومن المعروف ان الهواء يساق في المجارى فقط اذا كان هناك مروحة مربوطة على هذه المجارى للتغلب

على مقاومة هذه المجارى. ان المنحني المميز للمروحة والمنحني المميز للمجارى يتقاطعان في نقطة تسمى نقطة التشغيل حيث تعمل عندها المروحة.

١٥ ـ ١٠ وصل المراوح على التسلسل وعلى التوازى (التفرع):

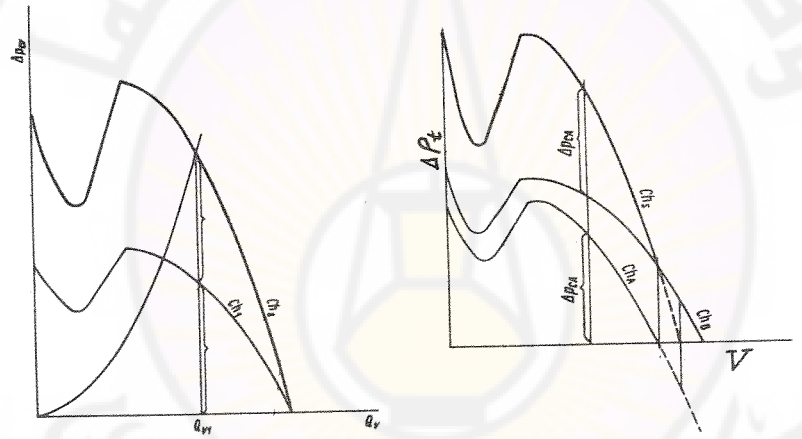
ان وصل مروحتين او اكثر على التسلسل يتم عندما تكون المجارى الهوائية لها مقاومة كبيرة لا يمكن لمروحة واحدة التغلب عليها. ان اسهل طريقة هي وصل مروحتين تعملان بنفس عدد الدورات. ان المنحني المميز لهاتين المروحتين يتم بجمع ΔP_t مرتين كما في الشكل

$$FTP_1 + FTP_2 = FTP$$

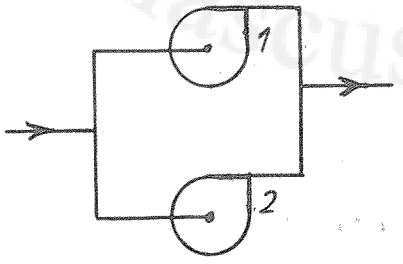


وصل مروحتين على التسلسل

اما اذا كانت المروحتان بقياسات مختلفة او بنوعين مختلفين فان المنحني المميز عند عملهما سوية يكون بجمع ΔP_t لهما . هذا وان هذه الطريقة قليلة الاستعمال لانه بالامكان ايجاد نموذج من المراوح يمكن ان يعطي الضغط المطلوب .

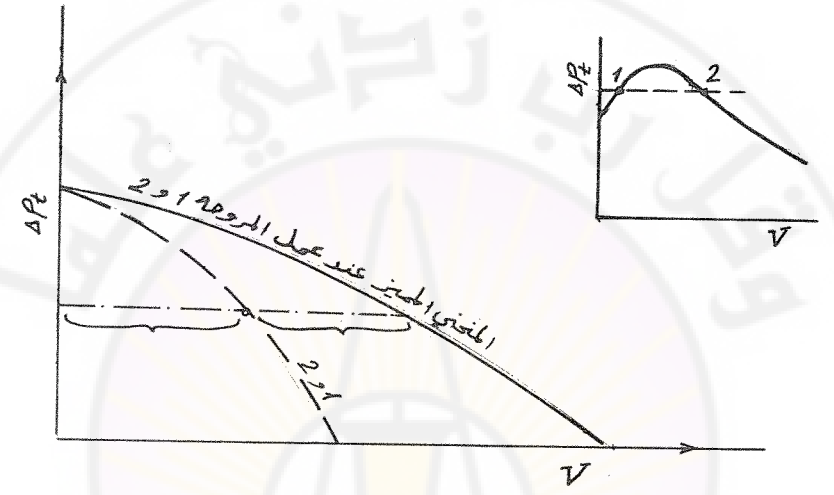


ان وصل المراوح على التوازي يتم اذا لم نتمكن من الحصول على كمية من الهواء بواسطة مروحة واحدة . ان هذا الوصل مصحوب ببعض التعقيد الناتج عن شكل المنحني المميز للمراوح . والشكل التالي يبين ذلك

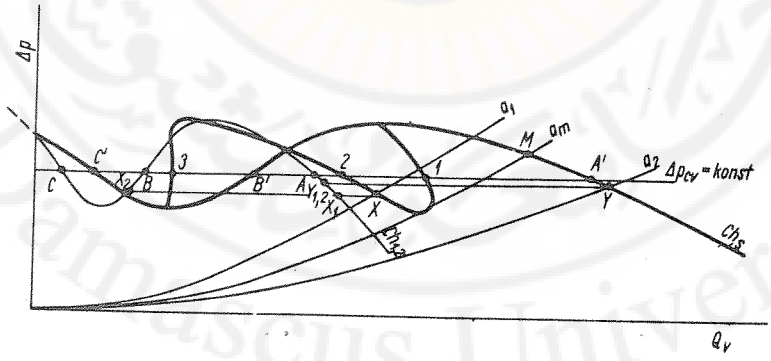


$$V = V_1 + V_2$$

$$\Delta P_t = \Delta P_{t1} = \Delta P_{t2}$$



الوصل على التوازي

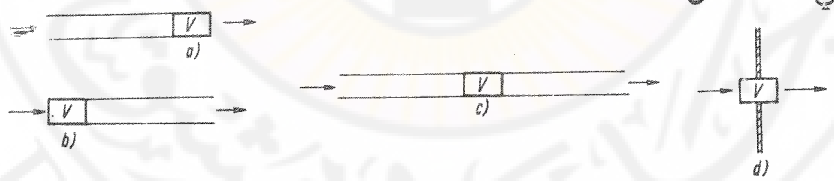


ان كان للمروحة الواحدة المنحني المميز المبين اعلاه فان ΔP_t يقطعها في ثلاث نقاط C و B و A التي توافق تدفق V_C و V_B و V_A

فاذا كان عمل المروحتين في النقطة A او النقطة B او النقطة C فان مجموع التدفق يكون $2V_A$ او $2V_B$ او $2V_C$ والموافقة للنقطة $\acute{A}$ ، $\acute{B}$ ، $\acute{C}$. اما اذا كانت احدى المراوح تعمل عند النقطة A والثانية عند النقطة B او النقطة C فان مجموع التدفق هو $V_A + V_B$ (النقطة 1) او $V_A + V_C$ (النقطة 2) . واذا كانت احدى المراوح تعمل في النقطة B والثانية في النقطة C فان المجموع يكون $V_B + V_C$ (النقطة 3) .

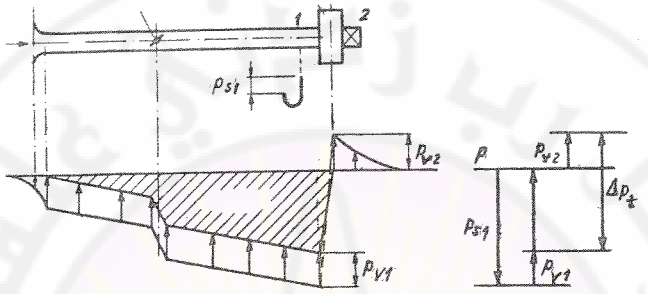
عند تقاطع المنحني المميز للمجارى مع المنحني المميز للمروحة في نقطتين او ثلاث فان نقطة التشغيل تكون هي النقطة الاكثر استقرارا .

١٥ ـ ١١ ـ تركيب المروحة في مجارى الهواء : يمكن ان تركب المروحة كما في الشكل



حيث النموذج A يمثل مروحة مركبة في نهاية المجارى الهوائية والنموذج B يمثل مروحة مركبة في ابتداء المجارى الهوائية ، والنموذج C يمثل مروحة مركبة في المجارى الهوائية ، والنموذج d يمثل مروحة مركبة في الجدار . فاذا فرضنا ان مجارى الهواء بنفس المقطع والمقطع دائرى فانه يمكن كتابة المعادلات التالية بالنسبة للحالة A .

الضغط الجوى P يساوى الضغط P_{s2}



$$W_1 = \frac{V}{S_1} \qquad W_2 = \frac{V}{S_2}$$

حيث S_1 و S_2 مقطع الجريان في النقطة 1 او النقطة 2 بـ m^2

التدفق الحجمي بـ m^3/s

ومنـــه يكون الضغط الكلي للمروحـــــة

$$FTP = TP \text{ at fan outlet} - TP \text{ at fan inlet}$$

$$FTP = SP_2 + VP_2 - (SP_1 + VP_1)$$

$$= 0 + \frac{1}{2}\rho . W_2^2 - (P_{s1} + \frac{1}{2}\rho . W_1^2)$$

$$= \frac{1}{2}\rho (W_2^2 - W_1^2) - P_{s1} = \frac{1}{2}\rho (W_2^2 - W_1^2) + |P_{s1}|$$

حيث P_{s1} هو الضغط الستاتيكي (اى الفرق بين الضغط الجوى والضغط في النقطة 1) عند مدخل المروحـــة .

وعند خروج الهواء من المروحة مباشرة الى المحيط الجوى الغير محدود فانه يمكن الافتراض ان الضغط الستاتيكي يساوى الى 0 والضغـــط

الديناميكي يعتبـــر ضـــياعا

$$FTP = -\frac{1}{2}\rho W_1^2 + |P_1|$$

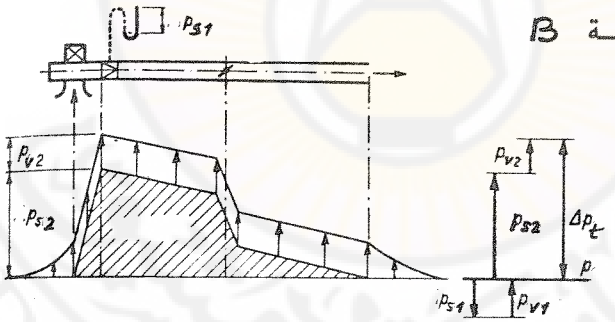
وفي الحالات العملية فانه يستعمل عند مخـرج المروحة diffuzor او حلزون حيث تنخفض سرعة الخروج وتتحول الى ضغط ستاتيكي ومنه يكـــون الضغط الكلي للمروحـة

$$FTP = \frac{1}{2}\rho(W_2 - W_1^2) + |P_1| - \Delta P_{20} - \frac{1}{2}\rho W_3^2 \quad [Pa]$$

حيث ΔP_{20} هي الضياع الضغطي للديفيوزر او الحلزون بـ Pa

W_3 سرعة خروج الهواء من الديفيوزر او الحلزون

وبالنسبة للحالـــة B



فان الضغط الكلي

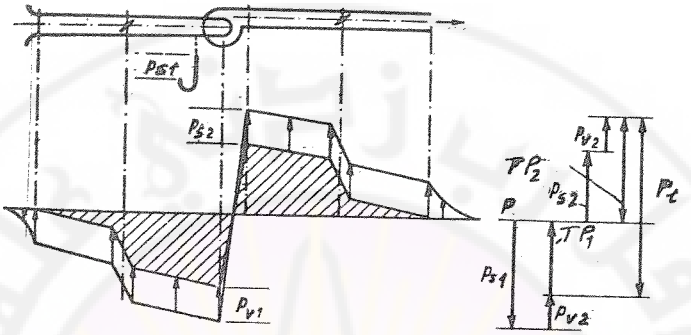
$$FTP = SP_2 + VP_2 - (SP_1 + VP_2)$$

$$= P_2 + \frac{1}{2}\rho W_2^2 - (0 + \frac{1}{2}\rho W_1^2)$$

$$= P_2 + \frac{1}{2}\rho(W_2^2 - W_1^2)$$

حيث P_2 هو الضغط الستاتيكي في المقطع 2

وبالنســـــبة للحالـــــة C



$$FTP = SP_2 + VP_2 - (SP_1 + VP_1)$$

$$= P_{s2} + \frac{1}{2}\rho W_2^2 - (P_{s1} + \frac{1}{2}\rho W_1^2)$$

$$= \frac{1}{2}\rho (W_2^2 - W_1^2) + (/P_{s2}/ + /P_{s1}/)$$

وبالنسبة للحالة D

وعند ما يكون مقطع جهة الامتصاص ومقطع جهة الانفلات متساويين يكـــــون

$$W_1 = \frac{V}{S_1} = W_3 = \frac{V}{S_2}$$

$$VP_1 = VP_2$$

١٥ ـ ٢١٢ طرق التنظيم والتحكم في المراوح الموصولة مع مجارى الهواء :

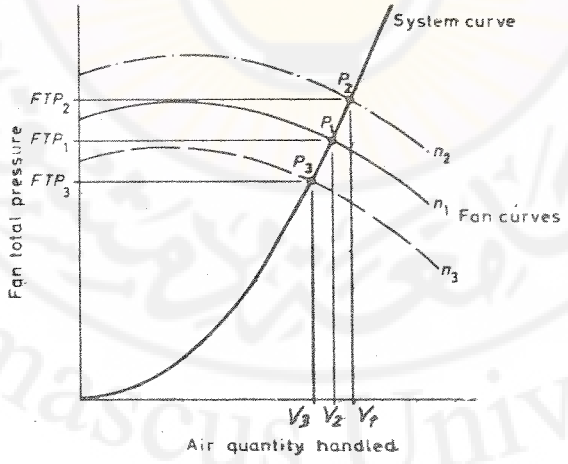
هناك ثلاث طرق رئيسية يمكن بواسطتها التحكم بكمية الهـــواء المعطاة من قبل المروحـــة وهي

١ ـ تغيير عدد دورات المروحـــة .

٢ ـ اغلاق جزئي للصمام الهوائي في المجارى .

٣ ـ التنظيم بواسطة تدوير الشفرات الموجهة .

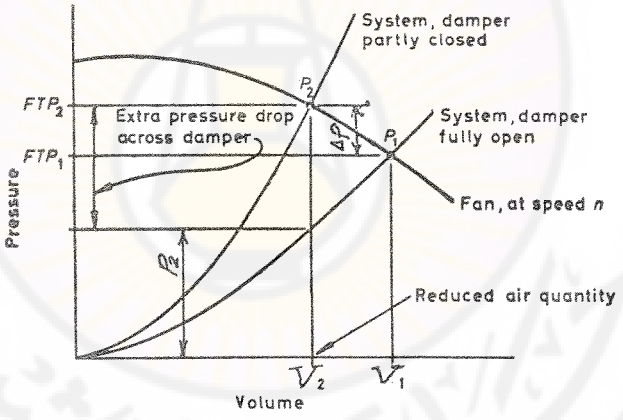
١ ــ ان تعديل عدد دورات المروحة يؤدى الى تغير في كمية الهـــواء التي تدفعها هذه المروحة وان هذا التعديل يتم باستعمال محـــــــرك كهربائي يعمل على ثلاثة فازات، او محرك كهربائي موصول مع المروحـــــة بواسطة وصلة هيدروليكية، او استعمال محرك مع تنظيم بواسطة وضع مقاومـات اضافية او غير ذلك . فاذا تغير عدد دورات المروحة من n_1 الى n_2 دورة / الثانية. فان المنحني المميز للمراوح يتغير من الوضع 1 الـــى الوضع 2 ومن الواضح ان نقطة التشغيل الجديدة هي P_2 بدلا مـــن P_1 وان V_2 اكبر من V_1 وان FTP_2 اكبر من FTP_1 مع عدم تغييـــــر في المجارى . واذا تغير عدد الدورات الى n_3 فان كمية الهواء تنقص .



٢ ــ اما الطريقة الثانية فتعتمد على زيادة المقاومة الكلية للمجارى وذلك بتكسير جزئي للصمام الهوائي الموجود فيها . وان ذلك يؤدى الى تغير في

المنحني المميز لهذه المجارى حيث ان الصمام الهوائي يعتبر جزءا من المجارى. فاذا كان عدد دورات المروحة ثابتا n rev/s والصمام الهوائي مفتوحا تماما فان عمل المروحة هو V_1 و FTP_1 وللحصول على كمية اقل من الهواء يغلق الصمام الهوائي جزئيا وتتغير نقطة التشغيل من P_1 الى P_2 و V_1 الى V_2 و FTP_1 الى FTP_2.

من الواضح ان هذه الطريقة مصحوبة باستهلاك زائد لاستطاعة المروحة وذلك لتتغلب على الضياع الضغطي للصمام الهوائي

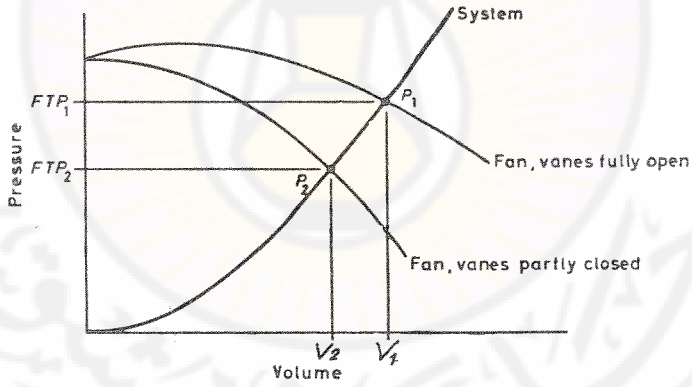


$$N = \left(\frac{\text{Extra pressure drop}}{\text{across damper}}\right) W$$

$$= V_2 \left(FTP_2 + \Delta P - P_2\right) W$$

٣ ـ تغيير اوضاع الشفرات الموجهة للهـــواء :

ان شفرات توجيه الهواء توضع عند مدخل الهواء للمساعدة في جريان الهـواء الى الدافع impeller حيث يمكن تغيير زاوية دورانها بالنسبة الـى اتجاه تيار الهواء ويؤدى ذلك الى تغيير في اتجاه دخول الهواء الـــى الفراش الدافع وهذا يؤدى الى ضياعات والى تغير في المنحني المميـــز لهذه المروحـة ٠ ان الشكل التالي يوضح ذلك



ان تغير كمية الهواء من V_1 الى V_2 يمكن الحصول عليه وذلك بتدوير شفرات الموجهـــة ٠ ان هذه الطريقـــة تستعمل كثيرا في المراوح المحورية

١٥ ـ ٣ ـ الاسس المتبعة لاختيار المراوح :

ان الانواع المختلفة من المراوح لها منحنيات مميزة مختلفة والتي تعتبر احدى الرموز والمواصفات الرئيسية والهامة لاختيار المروحة المناسبة الى العمل المطلوب • واورد فيما يلي مميزات ومساوئ الانواع المستعملة من المراوح بشكل عام •

نوع المروحة	المردود	المحاسن	المساوئ	الاستعمالات
مروحة محورية بدون شفرات موجهة		محكمة جيدا ، صالحة للاستعمال في داخل المجاري	سرعة دوران عالية لرأس الدافع، ذات ضغوط ضجيج عال ، لها صغيرة ضغط كلي قليل	لكل الاستعمالات عند ضغوط صغيرة
مروحة محورية مع شفرات موجهة		جريان وقذف مستقيمين وصالحة للمحاور العمودية	نفس الاولى	نفس الاولى
مراوح ذات شفرات منحنية الى الامام		محكمة وهادئة وتعمل عند سرعة منخفضة لرأس دافع ومناسبة عند الوصل بواسطة قشاط صغير سعرها قليل	تحتاج لمحرك	لكل انواع الضغوط القليلة والمتوسطة مناسبة للالات التكييف الصغيرة

نوع المروحة	المردود	المحاسن	المساوئ	الاستعمالات
مروحة ذات شفرات منحنية للامام	(قليل)	مردود هاعال ويحوى المنحني المميز للاستطاعة قمة، اى انها تعمل بشكل ثابت. مناسبة عند الوصل المباشر مع المحرك	سرعة محيطية عالية ضجيج عالي بالقياس مع النوع السابق، سعرها مرتفع، حجمها كبير	مناسبة عند ما لا نعرف قبلا نقطة التشغيل مناسبة للاستعمال عند ضغط متوسط وعالي مثل التكييف بسرعات عالية
مروحة ذات شفرات قطرية		مردود عالي	نفس السابق	نفس السابق وتستعمل لاجهزة التكييف الكبيرة

١٦ معـــدات انتشار الهـــواء

Air Diffusing Equipment

ان عمل معدات انتشار الهواء هو توزيع الهواء الى المكان المكيف للحصول على الشروط الداخلية المحيطية المطلوبة. وتوجد عدة معدات يمكن استعمالها متنوعة الشكل والغرض ونطلق عليها فتحات خروج الهواء Supply air outlets.

ان فتحات خروج الهواء تعد من الاجزاء الهامة التابعة الى اجهزة التهوية والتكييف. وان اختيارها يجب ان يتم بحيث تؤمن الراحة الحرارية للانسان وهي عدم حدوث فروق حرارية كبيرة، وعدم حدوث سرعة جريان كبيرة حيث السرعة 0,35 m/s تعد اعلى سرعة مسموح بها فوق الرأس والسرعة 0,1 m/s تعتبر اقل سرعة مسموح بها، كما ان اتجاه جريان الهواء له تأثير على شكل الجريان وعلى راحة الانسان.

يستعمل في الوقت الحاضر اربعة انواع اساسية لفتحات خروج الهواء

أ ـ فتحة مجهزة بشبك Grille outlets

ب ـ فتحة ضيقة ومستطيلة Slot diffuser outlets

جـ ـ انيموستات سقفي Ceiling diffuser (anemostat)

د ـ سقوف مثقبة Perforated ceiling panels

ان هذه الانواع الاربعة لها اشكال مختلفة ومتعددة وهي ذات مواصفات فيزيائية حسب الحاجة . ويكون مرتبطا مع هذه الانواع في اكثر الاحيان اضافات لتنظيم كمية تدفق الهواء damper وللتحكم بشكل المجرى الهوائي بواسطة شفرات موجهة vans حيث يجب استعمال هذه الاضافات طبقا لتوصية الشركة الصانعة .

١٦ ـ ١ تعاريف اساسية : Definitions

١ ـ السطح الاسمي للفتحة core area ونرمز له Sc : وهو سطح الفتحة مقاسة بأبعاد مقاييسها الداخلية .

٢ ـ السطح الحر free area ونرمز له Sr : وهو السطح الكلي الحر، اى انه السطح الاسمي ناقصا سطح الشفرات الموجهة والعوائق الاخرى الموجودة في الفتحة وقيمته

$$Sr = R \cdot Sc$$

حيث R عامل يعطى من قبل الصانع.

٣ ـ سطح الجريان ونرمز له So : وهو سطح الجريان في اضيق مقطع بعد الفتحة وقيمته $So = Cd \cdot Sr = Cd \cdot R \cdot Sc$

حيث Cd عامل التضيق وقيمته تتراوح بين $0,65 \div 0,9$

٤ ـ ثابت الفتحة K : ويعبر عن مواصفات شدة مزج الهواء بعد الفتحة .

٥ ـ مسافة القذف blow throw : وهي المسافة الافقية او العمودية على الافق (الشاقولية) والمقاسة من سطح الفتحة

الى مكان على محور هذه الفتحة حيث تنقص فيها السرعة المحورية لغاية 0,5 m/s او لسرعة اخرى حسب التعريف .

٦ ـ صعود او هبوط التيار drop : وهو المسافة الشاقولية التي يهبطها او يصعدها التيار الهوائي الخارج من الفتحة وتقاس من محور هذه الفتحة والمحور الذى يأخذه التيار الهوائي بعد هبوطه او صعوده عند مسافة القذف او غيرها .

٧ ـ الهواء الاولي primary air : وهو الهواء الذى تغذى به الفتحة من مجارى الهواء

٨ ـ الهواء الثانوى Secondary air : وهو الهواء الذى يحمله الهواء الاولي عند خروجه من الفتحة، اى هواء الغرفة المحمول من الهواء الاولي .

٩ ـ سرعة خروج الهواء من السطح الاسمي W_c او السطح الحر W_v او سطح الجريان W_o ، حيث

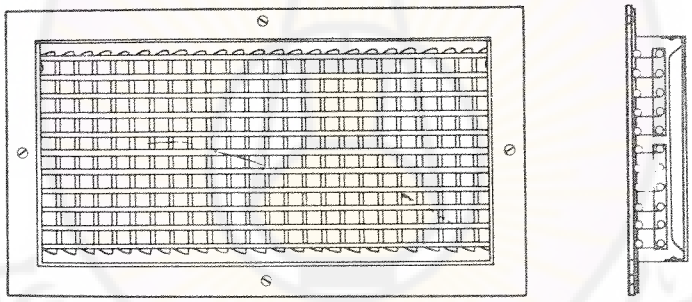
$$V = S_o \cdot W_o = S_r \cdot W_v = S_c \cdot W_c$$

$$= S_o \cdot W_o = C_d \cdot S_v \cdot W_o = C_d \cdot R \cdot S_c \cdot W_o = S_c \cdot W_c$$

١٠ ـ الصمام الهوائي damper : وهو العدة device التي تستعمل لتغيير حجم الهواء الذى يمر عبر الفتحة وذلك بتغيير مقطع هذه الفتحة .

١٦ ـ ٢ الفتحـــات المجهـــزة بشـــبك Grille outlets :

ان الشكل يبين فتحة مجهزة بحواجز افقية وعامودية من صـــف واحد يمكن تعييرها adjustable bar grille ، علما بانه يمكـــن ان تكون هذه الحواجز على صفين متعامدين . ان هذا النوع شائع الاستعمـــال كما يمكن ان تكون الشفرات ثابتة لا تتحرك fixed bar grille واتجاهها مستقيم او مائل بزاوية معينة حسب الطلب . كما يمكن ان تكون هذه الشفرات باشكال مختلفة stamped grilles حسب ما هو مطلوب .

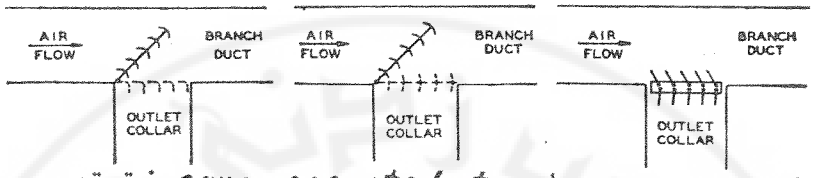


يستعمل مع هذه الفتحات عدة متممات للحصول على المواصفات الضروريـــة لهذه الفتحة حسب ما هو موضح في الشكل (تتحكم بتدفق الهواء) .

A ـ opposed-blade dampers يمكن تركيبها خلـــف الفتحة او يمكن تركيبها منفصلة عن الفتحة داخل المجرى تدور بشكل متعاكس .



B ـ multi-shutter dampers تتألف من عدة شـــفرات وتدور في نفس الاتجاه .



c – gang-operated turning vanes : تستعمل وتركب في فرع المجارى حيث تكون بأشكال مختلفة ٠

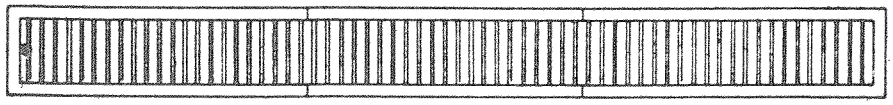
تستعمل هذه الفتحات في اكثر الاحيان في اعلى الجدران تحت السقف٠ كما يمكن تركيبها في الارض ويجب الاهتمام بالضجيج الذى تسببه هذه الفتحات ٠ ان المواد التي تصنع منها هذه الفتحات هي الالمنيوم والحديد والبرونز وتدهن او تغلفن ٠

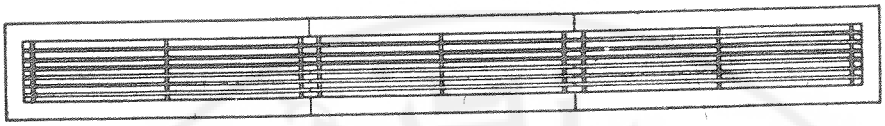
١٦ـ ٣ الفتحات الضيقة المستطيلة SLOT DIFFUSER OUTLETS :

وهي فتحات مستطيلة الشكل حيث طولها يكون اكبر من عرضها بكثير ، والنسبة بين الطول والعرض تكون 1÷25 او اكثر ٠ يستعمل نوعان اساسيان وهما :

1 – perpendicular flow slot diffusers

اي بجريان عمودى حيث يكون اتجاه هواء التغذية عموديا على سطح الـ diffuser ، وان اضافة الشفرات او القضبان او غيرها الى هذا النوع ، يمكن ان يغير من جريان الهواء بزاوية 30°





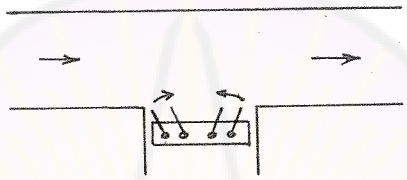
ب – parallel - flow slot diffusers أي بجريان موازي حيث يكون اتجاه هواء التغذية موازيا لسطح الـ diffuser ان استعمال الشفرات او القضبان تساعد على الحصول على flow pattern المطلوب . يركب هذا النوع في اعلى الجدار تحت السقف وخاصة لنوع الجريان العمودي او في الارض . كما يمكن تركيب هذا النوع في السقف ويستعمل لذلك نوع الجريان الموازي ويضاف اليها ايضا صمامات هوائية dampers للتحكم بكمية التدفق كما يمكن وضع شفرات توجيهية .

١٦ ـ ٤ انيموستات سقفي CEILING DIFFUSER OUTLETS :

ان الاشكال المدورة او المربعة او المستطيلة هي الاشكال المستعملة بشكل عام . تتألف هذه الفتحات من عدة خواتم تركب بأشكال واوضاع مختلفة حسب الطلب . ولسهولة التركيب تكون هذه الفتحات مؤلفة من قطعتين ، قطعة خارجية تركب على المجرى وقطعة داخلية يمكن تركيبها بسهولة .

ان الخواتم المركبة على هذه الفتحات يمكن ان توجه جريان الهواء الى الاسفل او الى الاعلى او بشكل مائل . كما يمكن تغطية هذه الفتحات بسطوح مثقوبة للمحافظة على المنظر الجمالي .

يمكن تركيب هذا النوع في السقف ceiling installation او في اعلى الجدار sidewall installation . امـــا القطع الاضافية مع هذا النوع فاما ان تكون multi-louver dampers كما في الشـــكل



او يمكن ان تكون opposed-blade dampers او Splitter dampers او غيرهـــا .

يصنع هذا النوع من الحديد او الالمنيوم مع الدهان او الغلفنة وغيرهـــا . هذا وفي المده الاخيرة ظهرت انواع كثيرة ومتعددة من هـــذا النوع بحيث تناسب وتوافق الشكل المعمارى والجمالي للبنـــاء .

١٦ ـ ٥ السقوف المثقوبـــــة PERFORATED CEILING PANELS :

عند ما تكون هناك ضرورة لتأمين جريان سريع داخل المكـــان المكيف ولتقارب درجات الحرارة في المكان المكيف يستعمل لذلك ســـــطوح مثقوبة توصل مباشرة مع المجارى كما توصل الانيموستات وتعطي بعض الشركات قيما تقريبية الى عدد الثقوب في وحدة السطح التي يخرج منها الهـــــواء وتكون هذه الثقوب بشـــكل دائرى .

١٦ ــ ٦ حساب الفتحات المجهزة بشبك GRILLE OUTLETS :

عند خروج الهواء من فتحة دائرية او مربعة او مستطيلة وموجودة في جدار فان انتشار الجريان يتم في جميع الاتجاهات ويمكننا حساب ومعرفة مواصفاته وهي

آ ــ زاوية الانتشار

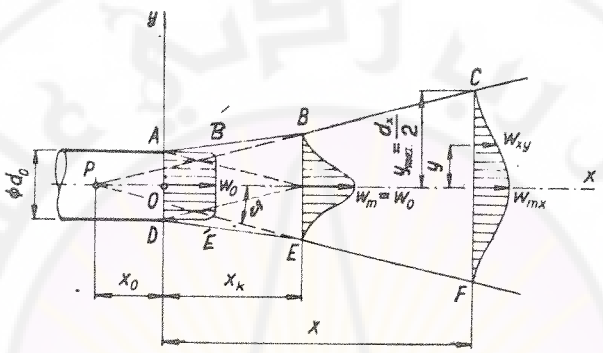
ب ــ سرعة الجريان على طول محور الجريان

جـ ــ منحني السرعة عند اى مقطع في المجال الذى يهم المهندس

آ ــ زاوية الانتشار : ان زاوية الانتشار الى المجرى الهوائي تتراوح بين $20 \div 24^{\circ}$.

ب ــ عند خروج الهواء من فتحة الى مكان غير محدود بأى سطح فانه يشكل جريان حر، هذا الجريان يجذب اليه الهواء الهادئ المحيط بمجرى الجريان بتأثير الاضراب على حدود الجريان . ومع الابتعاد عن فتحة خروج الهواء فان كمية الهواء الذى ينجذب يزداد وكذلك يزداد سطح مقطع الجريان .

فاذا فرضنا ان درجة حرارة الغرفة ودرجة حرارة هواء الجريان متساوية فان الانتشار يكون بشكل مستقيم باتجاه محور الفتحة. اما اذا كان هناك فرق في درجة الحرارة فان محور الجريان ينعطف عن محور الفتحة الى الاعلى او الى الاسفل ويسمى جريان Notisoterm . ان الشكل التالي يبين شكل الجريان عند تساوى درجة الحرارة .



نطلق على مسلك الجريان $AB'E'D$ حيث Zone 1 يمتد تقريبا الى اربعة امثال القطر او العرض وحيث تبقى السرعة العظمى للتيار الهوائي تقريبا بدون تغيير .

كما نطلق على مسلك الجريان $ABED$ والذى Zone 2 يمتد الى ثمانية امثال القطر او العرض .

اما مسلك الجريان الاساسي $BCFE$ فنطلق عليه Zone 3 وهو الذى يهم المهندس وغالبا ما يمتد من 25 الى 100 مرة من القطر ان السرعة في هذا المجال يمكن معرفتها من العلاقة

$$\frac{W_x}{W_0} = \frac{K}{X} d_0 = \frac{K'}{X}\sqrt{S_0}$$

حيث W_x السرعة في محور الجريان m/s

W_0 السرعة الوسطية عند خروج الهواء وتساوى الى $W_0 = \frac{W_c}{Cd \cdot R}$

W_c السرعة عند خروج الهواء مشتقة بالنسبة الى السطح الاسمي

C_d عامل التضييق $0,65 \div 0,90$

R عامل السطح

X المسافة من الفتحة m

K عامل ثابت $4,5 \div 6,5 \div 7$ و $K = 1,13\ K$

d_o القطر المكافئ للجريان عند الدفع

S_o المساحة لسطح الجريان عند اضيق نقطة بعد الفتحة مباشرة

$$S_o = S_c \cdot C_d \cdot R_{ta}$$

S_c المساحة الاسمية

V حجم الهواء المدفوع

$$W_x = \frac{K \cdot W_o \cdot \sqrt{S_o}}{X} = \frac{K \cdot V}{X \sqrt{S_o}}$$

مسافة القذف

$$L = X = \frac{K}{W_x} \cdot \frac{V}{\sqrt{S_o}} = \frac{K}{W_x} \cdot \frac{V}{\sqrt{S_c \cdot C_d \cdot R_{ta}}}$$

١٦ ـ ٧ حساب فتحات الهواء الضيقة والمستطيلة

عند ما تكون فتحة الهواء مستطيلة جدا فان السرعة في المقطع تعطى بالعلاقة

$$\frac{W_x}{W_o} = 2,5 \sqrt{\frac{h}{X \cdot R \cdot C_d}}$$

ومسافة القذف تساوى $L = 25\ W_o^2 \frac{h}{R \cdot C_d}$

حيث h هو ارتفاع الفتحة

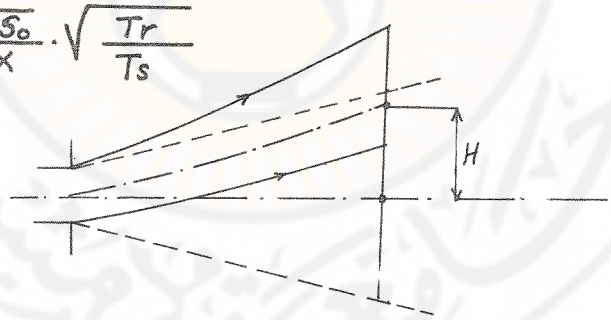
١٦ ـ ٨ تأثير السقف او الجدار واختلاف درجات الحرارة على مسافة القذف

ان تأثير السقف او الجدار على جريان الهواء من الفتحات يؤدى الى تغيير في مسلك المجرى الهوائي الذى ينتشر موازيا الى الجدار او السقف والذى لا يمكن ان ينتشر بحرية. فعند وجود الفتحة تحت السقف مباشرة فانه يمكننا حساب مسافة القذف من العلاقة التالية

$$L = 25\ w_o^2\ \frac{2h}{R.Cd}$$

اما عند ما يكون هناك اختلاف بين درجة حرارة الغرفة ودرجة حرارة هواء التغذية فان تيار الجريان ينخفض او يرتفع عن محور الفتحة طبقا لاختلاف درجة الحرارة ، وتنطبق على هذا الجريان المعادلات التالية

$$\frac{w_x}{w_o} = K' \frac{\sqrt{S_o}}{X} \cdot \sqrt{\frac{T_r}{T_s}}$$



حيث T_r درجة الحرارة المطلقة لهواء الغرفة

T_s درجة الحرارة المطلقة لهواء التغذية

اما مسافة انخفاض او ارتفاع مجرى التيار فيحسب من المعادلة

$$\frac{H}{d} = 0{,}002\ \frac{\Delta t}{w_c^2} \cdot d\ \left(\frac{X}{d}\right)^3$$

حيث H هو الارتفاع او الانخفاض

d قطر الفتحة (او ارتفاعها h)

Δt الفرق بين د رجة حرارة هواء التغذية ود رجة حرارة الغرفة

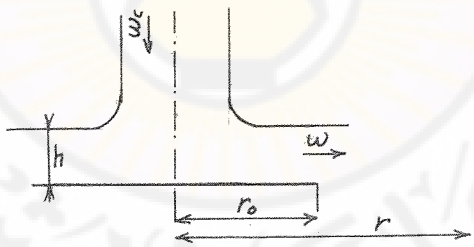
w_c سرعة خروج الهواء من الفتحة

x المسافة من سطح الفتحة الى مكان حساب الانخفاض او الا رتفاع

١٦ ـ ٩ حساب الفتحات السقفية

ان الفتحات السقفية توجه الهواء بواسطة سطوح اما بشـــكل افقي او مائل حسب زاوية السطح وذلك لأن خروج الهواء بشكل عمود ى يسبب في بعض الاحيان تيارات هوائية غير مطلوبـــة ٠

ان اسهل تصميم يتألف من سطح افقي او اكثر حسب الشـــكل



علما بأن السطح يمكن ان يكون بشكل مخروطي anemostat ٠ وبعـــض هذه الانواع يمكن توجيه التيار الهوائي كما يمكن تنظيم كمية الهواء ٠

ان مسافة القذف تعطى من قبل الصانع اما بالنسبة الى الفتحة الموضحة في الشكل فان

$$w_x = K \cdot w_c \sqrt{\frac{r_0 \cdot h}{r(r-r_0)}} = \sim K \frac{w_c}{L} \sqrt{r_0 \cdot h}$$

حيث h هو ارتفاع الفتحـــة ٠

r_0 نصف قطـر السـطح m

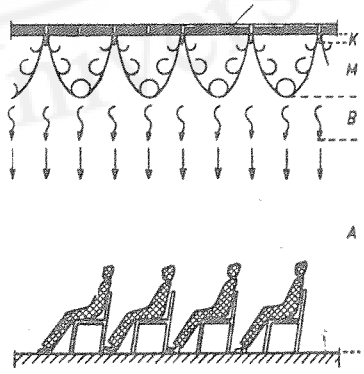
r البعد عن مركز الفتحـة m

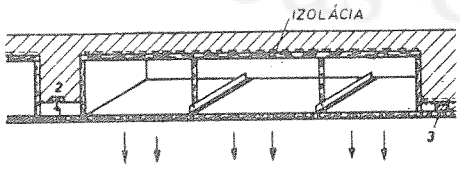
١٦ ـ ١٠ حساب السقوف المثقوبـة

وهي طريقة لتوزيع الهواء خاصة في الامكنة التي تحتاج الـى كمية هواء كبيـرة ، حيث يوجد في السطح كمية كبيرة من الثقوب التي يخـرج منها الهواء باتجاه الاسفل الى غرفة التهوية .

ان هذه السقوف تكون مسبقة الصنع ومصنوعة اما من الالمنيـوم او المواد البلاستيكية حيث تعلق في السقف ويدفع الهواء الى الفراغ بيـن السقف والسقف المستعار وعندما تكون مساحة السطح صغيرة يكفي ارسـال الهواء الى مكان واحد وفي حالة وجود مساحة كبيرة يجب توزيع الهـواء بواسطة مجارى خاصة . هذا ويجب استعمال مصفاة جيدة جدا للمحافظـة على سطح نظيف .

ان قطر الثقوب يتعلق بكمية الهواء وسرعة الهواء وفي اكثـر الاحيان يكون بقيمـة $4,5\ mm$. ان جريان الهواء هو طبقا للشكل :





هذا ونميز المناطق التاليـــــــة

١ ــ منطقة النواة : ان السرعة في النواة ثابتة ومساحتها تقريبـــــــا تساوى الى $5d$ ٠

٢ ــ منطقة الخلط : في هذه المنطقة يختلط الهواء الخارج مع الهـواء المحيط حيث تكون مسافة القذف

$$L = k \frac{W_0}{W_x} \cdot d = 7 \frac{W_0}{0,5} \cdot d$$

٣ ــ منطقة الهدوء : وفيها يكون تيار الهواء الخارج من الثقوب مختلطا تماما مع هواء الغرفـة وسرعته قليلة جـــدا ٠

٤ ــ منطقة الاقامة : وهي المنطقة التي يقيم فيها الانسان وتسمـــــى منطقة الراحة ٠

ان عدد الثقوب لكل متر مربع تكون بين $1000 \div 1200$ بقطر $4,5mm$ حيث تكون نسبة سطح الثقوب الى السطح الكلي هو تقريبا مـــن $1,5 \div 2\ \%$ ٠ وسرعة خروج الهواء نختارها بحيث تكون $W_c = H - 1$ حيث H هو ارتفاع الســـقف ٠

١٦ ــ ١١ تصميم فتحات الهواء :

ان العمل السليم والصحيح لاجهزة التكييف يقع قسم كبير منـــه على توزيع الهواء داخل المكان المكيف ٠ ان منطقة العمل بالنسبة الـــى الاشخاص هي المنطقة الواجب الاهتمام بها للحصول على راحة حرارية جيدة بحيث يجب ان يتحقق

١ ــ عدم وجود تيارات هوائية عالية للهواء البارد

٢ ــ عدم وجود مناطق يسحب منها الهواء بشكل كبير

٣ ــ يجب ان لا يكون هناك فرق كبير في درجات الحرارة بشكل افقي او عمودي داخل المكان المكيف ويجب ان يكون هذا الفرق اقل ما يمكن .

والجدول التالي يبين سرعة الهواء المسموح بها عند ارتفاع الرأس في المكان المكيف (مصلح طبقا الى ASHRAE والى CARRIER)

السرعة العظمى m/s		
التبريد 0 ÷ 0,1	التدفئة 0 ÷ 0,1	شعور غير مناسب بالراحة	لا يوصى بها
0,1 ÷ 0,125	0,2	جريان كامل ومناسب للاقامة الطويلة	الابنية العامة
0,125 ÷ 0,2	0,25	مناسب لكل الحالات العامة	
0,2 ÷ 0,25	0,3 ÷ 0,35	اعلى قيمة للسرعة مناسب وللاعمال في حالة جلوس اقامة قصيرة بدون حركة	مطاعم
0,3 ÷ 0,35	0,4	اقامة قصيرة مع حركة	محلات بيع مؤسسات استهلاكية
0,35	0,45	اقامة في مكان مع حركة	صالات الرقص
0,4 ÷ 1,5	ــ		في المعامل الصناعية

١٦ ـ ١٢ السرعات الموصى بها لحساب ابعاد فتحات تغذية الهواء :

١ ـ الفتحات المجهزة بشبك :

يمكن الاخذ بعين الاعتبار السرعة في الفتحة طبقا للجدول التالي :

استعمال المكان المكيف	سرعة خروج الهواء m/s
استديوهات تلفزيونية او اذاعية	1,5 ÷ 2
اماكن اقامة ، غرف اوتيلات مساح	2,5 ÷ 4
سينما	3,5
مكاتب كبيرة	5 ÷ 6
محلات تجارية S . M.	7,5 لغاية
اماكن صناعية	7,5 ÷ 10

٢ ـ انيموستات سقفي :

ان السرعة المقترحة في رقبة الانيموستات بعد الاخذ بعين الاعتبار الضجيج طبقا للجدول التالي

استعمال المكان المكيف	السرعة المقترحة m/s
استديوهات تلفزيونية او اذاعية	3 ÷ 3,5
اماكن إقامة ، مكاتب ، مستشفيات	4 ÷ 5

مكتبة ، مكاتب كبيرة ، قاعات محاضرات	5 ÷ 6
مطعم ، مسارح كبيرة ، محلات	6 ÷ 7,5
معامل ، مطابخ ، صالات رياضية	7,5 ÷ 10

اما السرعة المقترحة بعد الاخذ بعين الاعتبار ارتفاع المكان المكيف فهي طبقا للجدول

ارتفاع الغرفة بـ m	السرعة المقترحة m/s
2,5 ÷ 3	5,5
3 ÷ 4,2	7,5
فوق 4,5	9

١٦ ـ ٣ فتحات رجوع الهواء والسرعات الموصى بها لحساب ابعادها :

ان رجوع الهواء من المكان المكيف يمكن تأمينه بواسطة فتحات رجوع الهواء التي توصل مباشرة الى المجارى الراجعة او توصل الى مكان آخر ومنه الى مجارى الرجوع .

يمكن ان نستعمل نفس الفتحات التي تستعمل للتغذية مع شفرات موجهة او بدونها ويمكن ان يضاف اليها منظمات للهواء لتأمين توازن هيدروليكي للشبكة .

ان مكان وضع الفتحات لخروج الهواء وسرعة الهواء في فتحات الرجوع تتعلق بالضجيج المسموح به ، وبسرعة الهواء المسموح بها في مجال اقامة الاشخاص وبالضياع الضغطي ولها تأثير على فروق الحرارة داخل الغرفة . ففي المطابخ والمطاعم واماكن تجمع الناس يفضل وضعها في الاعلى

حيث الحرارة المتولدة والغازات الضارة تتجمع في اعلى المكان ٠

كما ان وضع هذه الفتحات في الارض او الجدار مناسب عند خروج هواء التغذية من السقف ٠ ويمكن ايضا ان توضع في الابواب ومنها الى الكوريدورات ٠٠٠ وغيرها من الطرق الكثيرة المستعملة ٠

على المصمم ان يختار مكان فتحات التغذية وفتحات رجوع الهواء حسب طبيعة البناء وشكله المعمارى وبشكل يتناسب مع الناحية الجمالية لهذا البناء وبالتعاون مع المهندس المصمم للبناء ٠

ويمكن للمصمم اعتماد الجدول التالي للسرعة المسموح بها في فتحات الرجوع ٠

استعمال مكان التكييف	السرعة في مقطع الفتحة m/s
التكييف لأجل الراحة :	
في المنطقة فوق وجود الانسان	4 واكثر
في المنطقة حيث يقيم الانسان (بعيدة عن مناطق الجلوس)	3 ÷ 4
في المنطقة حيث يقيم الانسان (بالقرب من مناطق الجلوس)	2 ÷ 3
فتحة في الباب او الجدار	1 ÷ 1,5
فتحة في اسفل الباب	1,5 ÷ 3
في بيوت السكن	2
في الاماكن الصناعية	4 واكثر

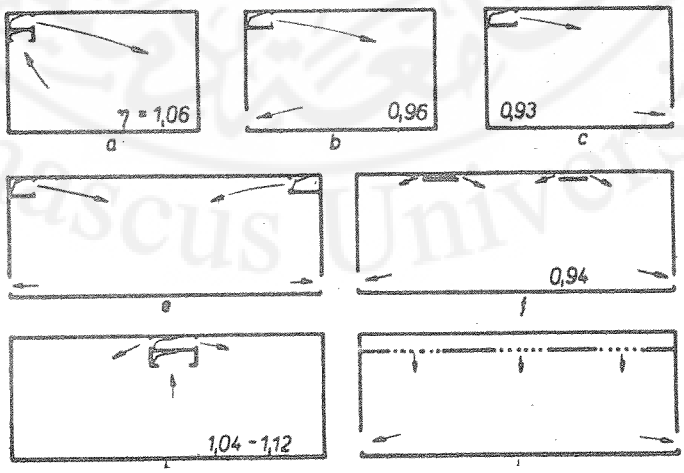
١٦ ــ ١٤ صورة الجريان داخل المكان المكيف:

ان حركة الهواء في المكان المكيف تتعلق بالدرجة الاولى بنوع وعدد ومكان ومقياس فتحات الدخول ، وكذلك السرعة ودرجة الحرارة للهواء الداخل . وكما بينا سابقا فان فتحات الهواء تضعها اما في الجدران او في السقوف .

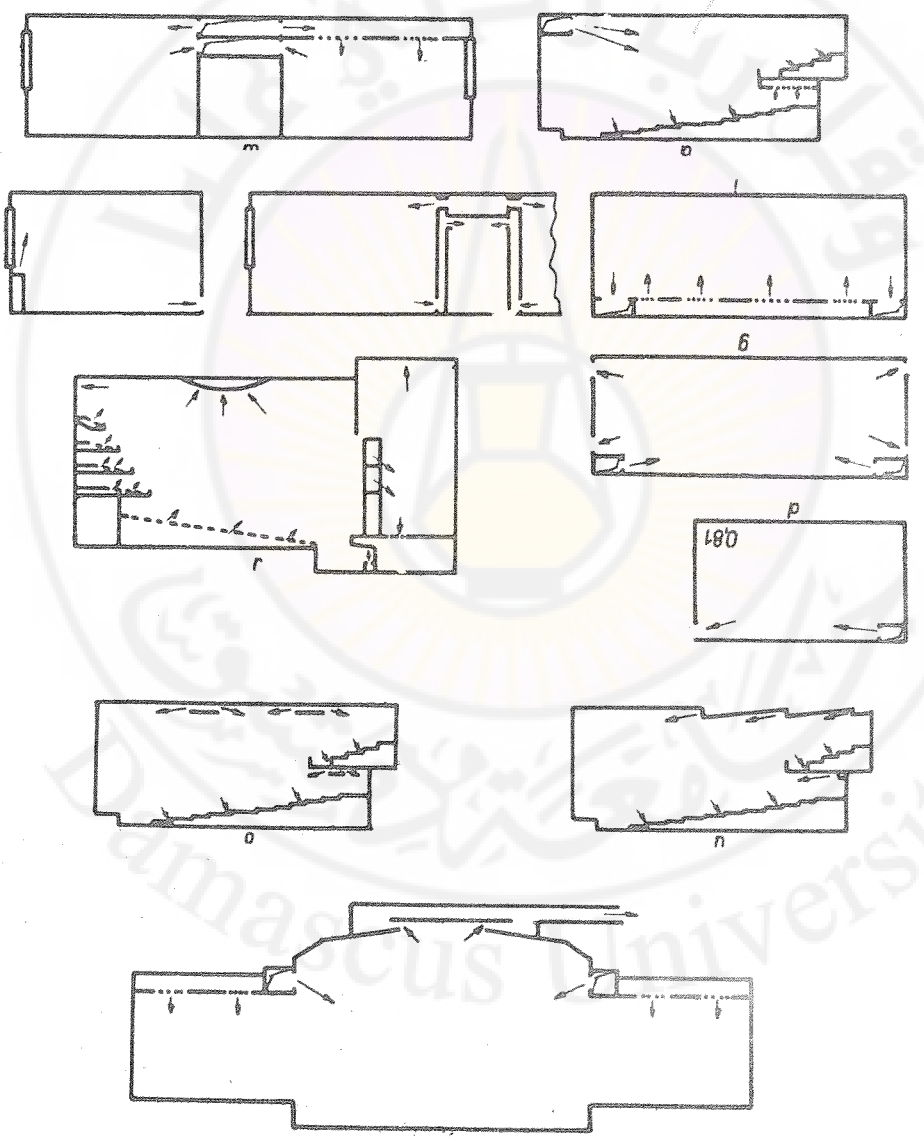
ان اختيار المكان المناسب لفتحات دخول وخروج الهواء يتطلب دراسة منفردة لكل حالة . حيث انه في بعض الاحيان لا يمكن تحقيق اى الطرق الاسلم لأسباب تتعلق بالبناء وشكله .

هذا وان تصميم الفتحات يجب ان يحقق الراحة في فصل الصيف وفي فصل الشتاء ، كما انه يجب الاخذ بعين الاعتبار عدد مرات تبديل الهواء خاصة عند تصميم الفتحة .

ويبين الشكل التالي موضع فتحات التغذية وفتحات الرجوع لبعض الاماكن



تابـع الجـدول السابق



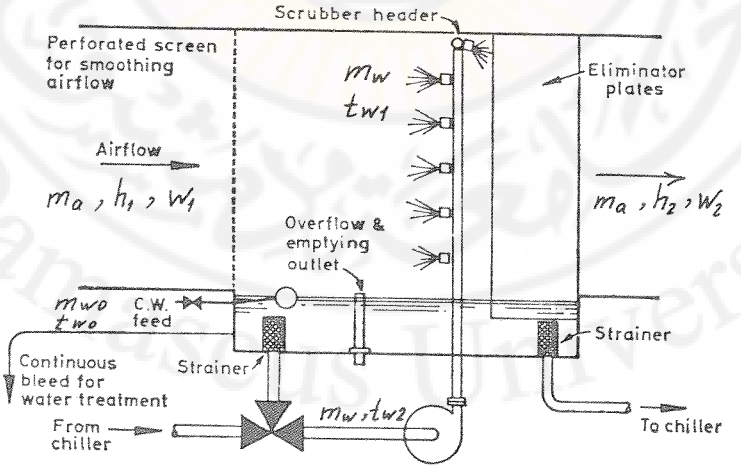
١٧ غسالات الهواء والمرطّبات

AIR WASHERS AND HUMDIFIERS

١٧ ـ ١ غسالات الهواء Air Washers

١٧ ـ ١ ـ ١ الغسالات نموذج Spray-type Washers : ان

الشكل التالي يبين غسالة هواء تتألف من وعاء chamber يحتوى على مجموعة من البخاخات ووعاء لجمع الماء المبخوخ عند سقوطه وفاصل لقطرات الماء eliminator وضخة لتدوير الماء بكمية اكبر بكثير من الكمية التي تتبخر . ان التماس المباشر بين الهواء والماء يؤدى الى انتقال في الحرارة وانتقال في الماء بين الهواء والماء .



ان غسالات الهواء هذه تتراوح في طولها بين 1,2 الى 3

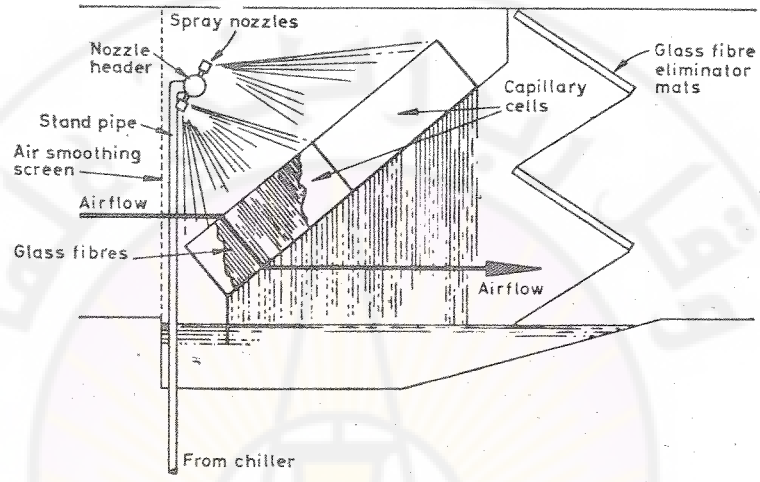
متر حيث ان ذلك يتعلق بعدد صفوف البخاخات، كما ان سطح المقطع لها تابع الى سرعة الهواء في وعاء الغسالة chamber . ان كمية الماء المتبخرة يمكن ان تتراوح بين $1,8 \div 2,5\ \ell/min$ علما بأنه لا يوجد نورم لهذه الغسالات تحدد مواصفاتها مثل سرعة الهواء ، كمية الماء المبخوخة في الثانية، ضغط البخاخات ، كمية الماء المتبخر، وغيرها .

تصنع غسالات الهواء من الصاج المغلفن او غيره والغير قابل للصدأ ، كما يوجد لها ابواب لفحصها ويكون ضغط البخاخات من 3 - 2 bars او اكثر حيث يستعمل الضغط العالي لتدوير الماء عند الترطيب ، بينما الضغط المنخفض عند تبريد الهواء .

كما وتصنع في بعض الاحيان من بعض مواد البناء وتحتوى على نفس العناصر المذكورة سابقا ولها ابواب من الحديد وتستعمل من اجل التكييف الاصناعي باستطاعات من $60000\ m^3/h$ من الهواء او اكثر وتعادل كمية الماء المبخوخة $3 \div 10$ مرات كمية الماء المتبخرة .

١٧ ـ ١ ـ ٢ الغسالات نموذج : Capillary air washer او cell type Washer

ان هذا النوع من غسالات الهواء يستعمل خلايا مبللة بالماء بدلا من البخاخات حيث ان هذه الخلايا تحتوى على عدد كبير من خلايا الفيبر كلاس موزعة بالتوازى وباتجاه جريان الهواء والماء . ان التماس اللا نهائي بين الهواء والماء يجعل مردودها كبيرا جدا بحث يصل الى 98% كما انها تعتبر مصفاة ممتازة للهواء كما يبين الشكل :



ويمكن ان تحتوى على عدد من الخلايا موزعة فوق بعضها .

١٧ ـ ١ ـ ٣ الغسالات نموذج :

High - Velocity Spray - type Washers

ان هذا النوع يعمل بنفس الطريقة التي يعمل بها الغسالات الكلاسيكية spray مع اختلاف في الشكل حيث ان هذه الغسالات بالشكل التالي :

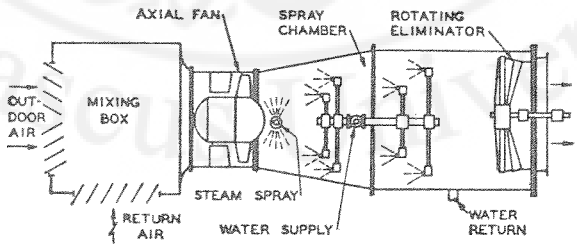


Fig. 5 .... High Velocity Spray-Type Washer

ان السرعة العالية للهواء تؤدى الى نقصان في المقطع بينما يمكن الحصول على مردود ممتاز 98% وتصنع بتدفق هواء $5 \div 25\ m^3/s$ وضغط بخار الماء $2 \div 4\ bars$ وتدفق الماء من $5 \div 25\ kg/h$ ان السرعة العالية للهواء تؤدى الى دوران الفاصل الذى يبعد عن الهواء قطرات الماء بواسطة القوة النابذة والذى يعود الى الوعاء الاساسي .

ان استعمال هذه الغسالات عندما تكون سرعة الهواء اكبر من السرعة العادية بـ 4-3 مرات يقلل من المكان ومن الفراغ الذى تأخذه هذه الغسالات .

١٧ ـ ٢ حساب غسالة الهواء :

١ ـ التوازن الحرارى لغسالة الهواء :

يمكن كتابة التوازن الكلي لغسالة الهواء بمعادلتين ، الاولى التوازن الحرارى (من القانون الاول للتيرموديناميك) ، والثانية من التوازن المادى . فاذا فرضنا غسالة هواء كما في الشكل المرسوم سابقا ، فان معادلة التوازن الحرارى يمكن كتابتها

$$ma \cdot h_1 + m_w \cdot c_w t_{w1} + m_{wo} \cdot c_w \cdot t_{wo} = ma \cdot h_2 + m_w c_w t_{w2} + Q$$

حيث ma هو تدفق الهواء $kg\ dry\ air/s$

m_w هو تدفق الماء المبخوخ kg/s

m_{wo} هو تدفق الماء المضاف kg/s

t_{w1} درجة حرارة الماء عند الخروج من البخاخ

t_{w2} درجة حرارة الماء في وعاء غسالة الهواء

t_{w0} درجة حرارة الماء المضافة بواسطة الفواشـــة

h_1 انتالبي الهواء عند الدخول الى الغسالة J/Kg. dry air

h_2 انتالبي الهواء عند الخروج من الغسالة " "

Q الضـياع الحرارى من الغسالة [W]

كما يمكن كتابـــة معادلة التوازن المـــادى

$$m_a \cdot w_1 + m_w + m_{w0} = m_a \cdot w_2 + m_w$$

عند اصلاح المعادلتين السابقتين وتقسيمهما نحصـل على

$$S = \frac{h_1 - h_2}{w_1 - w_2} = \frac{m_w \cdot c_w (t_{w1} - t_{w2}) - Q}{m_{w0}} + c_w t_w$$

ان الحد $m_w \cdot c_w (t_{w1} - t_{w2}) - Q$ يمثل الحرارة المعطاة الـى الغسالة بأى حالة من الاحوال .

٢ ـ الضـياع الضغطي لغســالة الهـــواء :

يتألف الضياع الضغطي لغسالة الهواء من الضياع الضغطـــي للغسالة ولفاصل القطرات ويحسب الضياع الضغطي للغسالة من العلاقة :

$$\Delta P_w = 120 \gamma P_1 \cdot \xi + 0,1 n \frac{w^2}{2} \rho$$

حيث γ كثافـــة بخ المـاء Kg water/Kg air

P_1 فرق الضغط قبل وبعد البخاخ

ξ عامل يتعلق باتجاه البخاخات، فان كان البخ باتجاه الجريـان فان $\xi = -0,22$ وان كان البخ بعكس اتجاه جريان الهواء فـان

n عدد صفوف البخـــاخات

اما المعادلـة الضغطيـــة لفاصل القطرات فيمكن معرفتهـــا من العلاقـــة التاليـــة

$$\Delta P_E = m \cdot \xi \frac{w^2}{2} \rho$$

حيث m عدد صفوف فاصل قطرات الماء

ξ عامل ضياع الفاصل بالنسبة الى صف واحد $\xi = 1,5 \div 6$

١٧ ـ ٣ وظيفـــة غســـالات الهواء :

عند التماس المباشر بين الهواء وقطرات الماء فان درجة الحرارة والرطوبة للهواء تتغير ويمكننا اعتبار انه عند هذا التحول (التغير) فـــان معادلة Lwiss تنطبق عليه ، اى ان هذا التحول للهواء يسير علـــى مستقيم الذى يصل بين الحالة الاولى للهواء وحالة الهواء عند الاشباع بدرجة حرارة سطح القطرات المائية ، اى انه يمكن ان يحدث في غسالات الهـــواء الحالات التاليـــة

أ ـ تبريد مع تجفيف الهـــواء

$$w_2 < w_1 \, , \; t_{a2} < t_{a1} \, , \; h_2 < h_1$$

ب ـ تبريد مع ترطيب الهواء مع تنقيص الانتالبي لـــه

$$w_2 > w_1 \, , \; t_{ai} < t_{a2} \, , \; h_2 < h_1$$

جـ ـ تبريد وترطيب الهواء مع المحافظة على ثبات الانتالبي للهواء

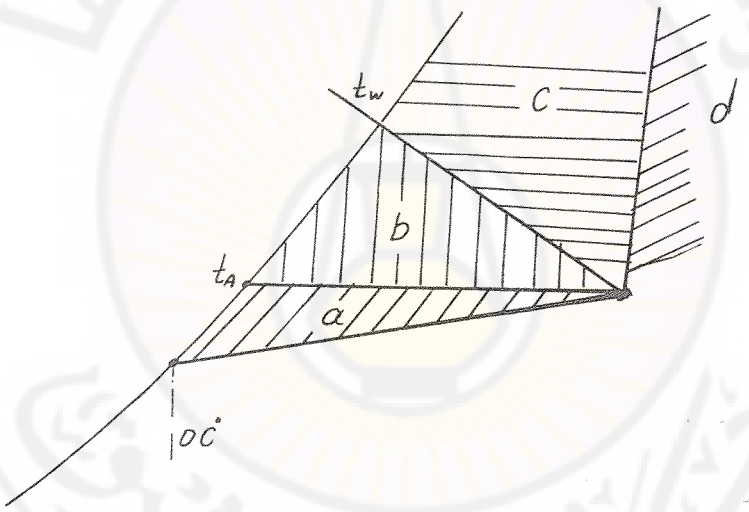
$$w_2 > w_1 \, , \; t_{a2} < t_{a1} \, , \; h_2 = h_1$$

د ـ تبريد وترطيب الهواء مع زيادة الانتالبي لـــه

$$W_2 > W_1 \quad و \quad t_{a2} < t_{a1} \quad h_2 > h_1$$

هـ ـ ترطيب مع رفع د رجة حرارة الهـــــواء

$$W_2 > W_1 \quad و \quad t_{a2} >$$



فاذا كانت د رجة حرارة الماء المبخوخة تقع بين 0 c° ود رجـــة حرارة نقطة الند ى لهذا الهواء فان التحول يكون في المجال a طبقـــا لد رجة حرارة الماء المبخوخ ويكون عمل غسالة الهواء كوشيعة تبريد (غســالة بوليتروبيـــة) .

واذا كانت د رجة حرارة الماء تقع بين د رجة حرارة نقطة النـد ى لهذا الهواء ود رجة حرارة الهواء الرطبة لهذا الهواء فان التحول يكون فـــي

المجال b طبقا لدرجة حرارة الماء (غسالة بوليتروبية) .

واذا كانت درجة حرارة الماء تقع بين درجة حرارة الهواء الرطبة ودرجة حرارة الهواء الجافة فان التحول يكون في المجال c .

اما اذا كانت درجة حرارة الماء اعلى من درجة حرارة الهواء الجافة فان التحول يكون في المجال d .

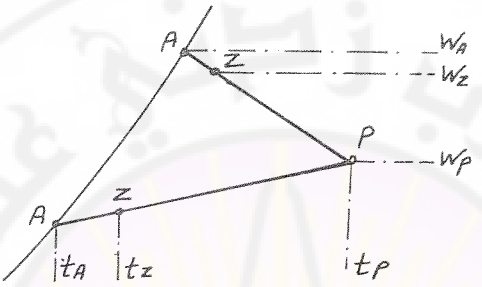
علما بأنه في الحقيقة فان هذه التحولات لا تحصل بدقة وذلك لأن قطرات الماء غير متساوية كما ان درجة حرارتها تتغير خلال التحول وحالة الهواء النهائية تتأثر بعدة عوامل مثل درجة حرارة الماء وحجم قطرات الماء وكمية الماء المبخوخة .

فعند بخ كميات كبيرة من الماء لا تتبخر بأكملها فان اتجاه التحول يكون $S = t_w$ ، وعند بخ كميات قليلة من الماء بقطرات صغيرة تتبخر بأكملها فان اتجاه التحول يكون $S = c_w t_w$.

١٧ ـ ٤ مردود غسالات الهواء :

عند ابتداء مرور الهواء في الغسالة بالحالة P فان تحوله داخل غسالة الهواء يجعل خروجه منها بالحالة z التي تقع على المستقيم الذى يصل النقطة P بالنقطة A والتى تسمى apparatus dew point حيث يستعمل هذا التعبير بالنسبة الى الغسالات والى وشائع التبريد . وبالتعريف فان عامل التلامس لغسالة الهواء هو contact factor .

$$CF = \frac{W_P - W_2}{W_P - W_A} = \frac{h_P - h_2}{h_P - h_A}$$



وبالمشابه فان عامل التحويل اى By-pass factor لها

$$BF = 1 - CF = \frac{W_Z - W_A}{W_P - W_A} = \frac{h_Z - h_A}{h_P - h_A}$$

هذا ويمكن بدقة كافية التعبير عن CF وعن BF بالنسبة الى درجـــــة الحـــــــرارة

$$CF = \frac{t_P - t_Z}{t_P - t_A}$$

$$BF = 1 - CF = \frac{t_Z - t_P}{t_P - t_A}$$

وعادة يطلق اسم الفعالية او المردود بالنسبة للمرطبـــات ، اى

$$\text{Effectiveness of spray chamber} = \frac{t_P - t_Z}{t_P - t_A} = \frac{h_P - h_Z}{h_P - h_A} = \frac{W_P - W_Z}{W_P - W_A}$$

$$\text{humidifying efficiency} = 100 \cdot Ef$$

١٧ ـ ٥ استعمالات غسالات الهواء :

تستعمل غسالات الهواء

١ ـ للترطيب Humidification اى زيادة نسبة الرطوبة

٢ ـ في تقليل نسبة الرطوبة وفي التبريد

٣ ـ في تنظيف الهواء Air Cleaning

١٧ ـ ٥ ـ ١ الترطيب بواسطة غسالات الهواء :

Humidification with air washers

ان ترطيب الهواء يمكن ان يتم بثلاثة طرق في غسالات الهواء

ـ استعمال ماء بخ دوارة recirculated بدون معالجة مسبقة للهواء (مرطبة اديباتيكية) .

ـ تسخين مسبق للهواء ثم غسله بواسطة بخ ماء دوارة recirculated spray water

ـ استعمال ماء بعد رفع درجة حرارته .

يجب الانتباه الى ان درجة حرارة الهواء يجب الا تدخل الغسالة بدرجة حرارة رطبة اقل من 2 c° وذلك خوفا من تجمد الماء المبخوخ .

ان الطريقة الاولى يمكن اعتبارها اديباتيكية اذا اعتبرنا ان الطاقة التي تدخل الى الغسالة من الخارج وهي طاقة مضخة تدوير الماء والضياعات من خارج الغسالة الى داخلها عن طريق هيكلها ووصلاتها تساوى الى الصفر . اى ان التبخر من رذاذات الماء يمكن ان يؤدى وبالتماس

مع الهواء الى جعل هذا الهواء بحالة اشباع اديباتيكية saturation adiabatically وباعتبار ان الماء بحالة دوران recirculated فان درجة حرارته سوف تصبح مساوية الى درجة الحرارة الرطبة الثيرمودينامكية thermodynamic wet-bulb temp. الى الهواء الداخل .

ان هذا لا يعني ان كل الهواء سيصبح مشبعا تماما بل ان حالته سوف تتحول على خط درجة الحرارة الرطبة لهذا الهواء . وان الحالة النهائية للهواء الخارج من الغسالة سيحدده مردود المرطبة والتي شرحت سابقا .

$$Ef = \frac{t_p - t_z}{t_p - t_d}$$

حيث t_p درجة الحرارة الجافة للهواء الداخل الى الغسالة C°

t_z درجة الحرارة الجافة للهواء الخارج من الغسالة C°

t_d درجة الحرارة الثيرمودينامكية الرطبة للهواء الداخل والمساوية تقريبا الى درجة حرارة الهواء الرطبة C°

وان هذا المردود يتعلق بعوامل كثيرة مثل قطر رذاذات الماء والمسافة التي يستغرقها التماس بين الهواء وبين رذاذات الماء ، كما يتعلق ايضا بسرعة جريان الهواء وغيرها .

ان الطريقة الثانية تعتمد على تسخين مسبق للهواء قبل دخوله الى الغسالة ، وهذا التسخين يرفع من درجة حرارة الهواء الجافة والرطبة ويخفض من الرطوبة النسبية له بينما لا يغير من نسبة الرطوبة له kg/kg dryair . وباعتبار انه عند درجات حرارة رطبة مرتفعة ونسبة رطوبة واحدة فان الهواء يمتص كميات اكبر من الماء لكل كيلو غرام من الهواء الجاف

الماء عبر الغسالة . ان دراسة الترطيب بهذه الطريقة هي مشابهة تماما للطريقة الاولى .

اما الطريقة الثالثة فبالرغم من الحرارة المضافة الى مياه البخ في الغسالة، فان المزيج الذى يحصل داخل الغسالة يبقى اعتباره اديباتيكياه وان الحالة النهائية لهواء المزيج بعد المرطبة سوف يتحول باتجاه يساوى الى الانتالبي النوعية الى الماء . هذا ومن الممكن وعند رفع درجة حرارة الماء (عند ضغط اعلى من الضغط الجوى) من زيادة درجة الحرارة الرطبة ودرجة الحرارة الجافة للهواء الخارج من الغسالة عن درجة الحرارة الرطبة ودرجة الحرارة الجافة للهواء الداخل الى المرطبة .

هذا وتجدر الاشارة الى ان الهواء الخارج من الغسالة يجب اعادة تسخينه مرة ثانية للوصول به الى درجة الحرارة الجافة المطلوبة والرطوبة النسبية المطلوبة .

١٧ ـ ٥ ـ ٢ تنقيص الرطوبة والتبريد بواسطة غسالات الهواء :

Dehumidification and Cooling with Air Washers

ان غسالات الماء (البوليتروبية) تستعمل ايضا لتنقيص نسبة رطوبة الهواء ولتبريده . ان الحرارة والرطوبة المزالة من الهواء تؤدى الى زيادة في درجة حرارة الماء . فاذا كانت درجة حرارة الماء اخفض من درجة الحرارة الرطبة (للهواء) فان الغسالة ستؤدى الى انخفاض في درجة الحرارة الرطبة والجافة للهواء معا .

ان انخفاض نسبة الرطوبة سوف يحدث اذا كانت درجة حرارة

الماء الخارج من الغسالة اقل من د رجة الحرارة الرطبة للهواء الداخل الى الغسالة • وان الحالة النهائية للماء (اى د رجة حرارة الماء) ستحدد بكمية الحرارة الكامنة والحرارة المحسوسة التي كسبها الماء وبكمية الماء الدائرة •

على كل حال فان د رجة حرارة الماء النهائية يجب الا تزيد عن د رجة الحرارة الرطبة للهواء الخارج من الغسالة ويفضل ان تكون اقل منها بد رجة او د رجتين او اكثر •

ان عامل الغسالة المستعملة للتبريد وتخفيض نسبة الرطوبة Performance Factor اى فعالية الغسالة Effectiveness هي كما شرحنا سابقا تساوى الى

$$E = \frac{h_P - h_Z}{h_P - h_A}$$

حيث h_P هو انتالبي الهواء عند الدخول الى الغسالة

h_Z هو انتالبي الهواء الخارج من الغسالة

h_A هو انتالبي الهواء الخارج من الغسالة وبفعالية ١

علما بأن فعالية الغسالة يجب ان تعطيها الشركة الصانعة •

١٧ ـ ٥ ـ ٣ تنقية الهواء (تنظيف الهواء) بواسطة غسالات الماء :
Air Cleaning with Air Washers

ان غسالات الهواء تعتبر منظفات متوسطة للهواء ماعدا نوع غسالة الهواء التي تعمل على الخلية cell-type washers حيث يصل مردودها لغاية ٧٠ ÷ ٩٠ % من المواد الصلبة العالقة بالهواء بقطر

اكبر من 5 ميكـــرون وعلى كل حال فان تصفية الهواء بواسطة الغســـالة غير مستعمل بشـــكل واســـع .

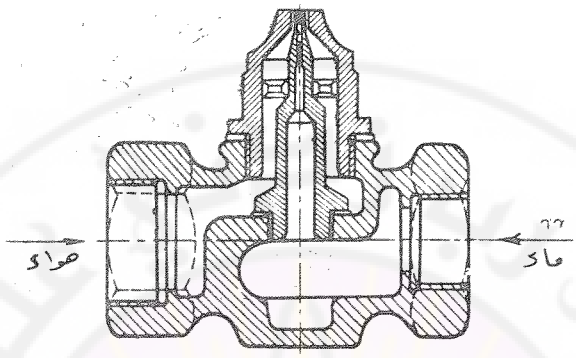
١٧ ـ ٦ الترطيـــب Humidification :

ان معنى الترطيب هو زيادة نسبة الرطوبة الى الهواء . ان غسالات الهواء Air Washers والمبردات التبخرية evaporative coolers (كما سيأتي شرحها) يمكن ان تستعمل كمرطبات ولكن فـــي اكثر الاحيان تختار للقيام بأعمال اخرى اضافة الى الترطيب وهي تبريد الهواء او تنقيتـــه .

ان هذا الفصل سيبحث في الآلات التي تستعمل فقط للترطيب حيث تقسم الى آلات ترطيب في المساكن residential وآلات ترطيـــب للصناعـــة industrial . علما بانه يمكن استعمال كلا النوعيـــن لنفس الغرض . كما تقسم ايضا طبقا الى موضعها الى مرطبات توضع فـــي المجارى مباشرة ducted systems ومرطبات توضع في المكـــان المراد ترطيبـــه space humidification . كما ويمكن ان تقسم طبقا لطريقة عملها الى ترطيب بالماء وترطيب بالبخار .

١٧ ـ ٦ ـ ١ الترطيب بواسطة تذرير الماء بالهواء المضغـــوط Compressed Air Separation

يستعمل الهواء المضغوط بضغط 1,3 - 1,7 bar وذلك لتفريز الماء وبخه في المكان المراد تكييفه حيث تستعمل في اكثر الاحيان فـــي معامل النسيج . ان الشكل التالي يبين نوعا من انواع البخاخات المستعملة



حيث يدخل الماء من طرف والهواء من طرف آخر وبواسطة عامل الامتصاص Ejector يمتص الهواء الماء برذاذات صغيرة جدا . ان استهلاك الهواء قليل نسبيا : 1-2 Kg من الهواء لكل 1 Kg من الماء ، ويمكن بواسطتها اعطاء كمية من الرطوبة تساوى 1-2 g/Kg dry air او اكثر اذا كانت موضوعة مباشرة في المكان المراد ترطيبه .

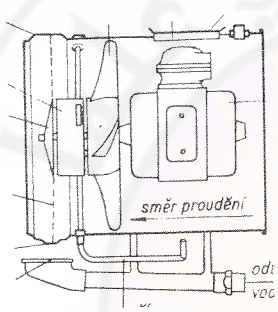
١٧ ـ ٦ ـ ٢ الترطيب بواسطة قرص Mechanical Separation

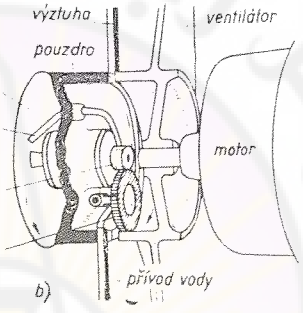
حيث يؤخذ الماء بضغط مرتفع من انابيب توزيع المياه مباشرة ويتم تذريره على اسطوانة دوارة تؤدى الى تذرير الماء الى قطرات صغيرة جدا . وانتاج هذه المرطبات كثير جدا . ويبين الرسم التالي احداها من شركة Fläktabriken في المانيا الغربية او مرطبة نوع Defensor A.G. Zürich حيث يمكن تركيبها اما في المكان المراد تكييفه مباشرة او في المجارى .

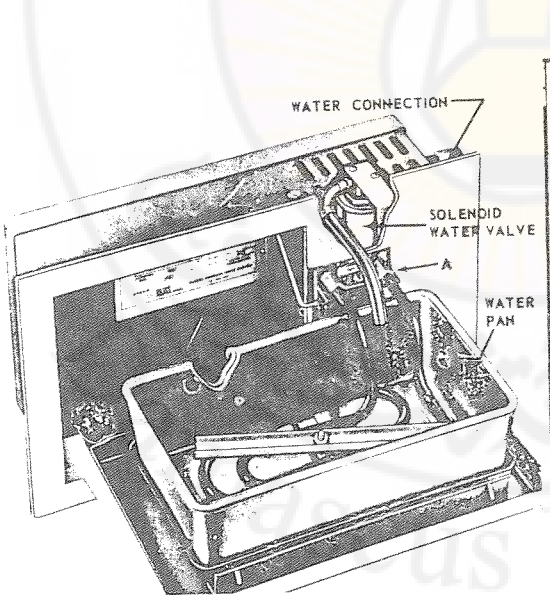
١٧ ـ ٦ ـ ٣ الترطيب نموذج Pan Humidifier : تتألف من وعاء يمر الهواء فوقها حيث يتم ترطيبه ويتعلق بسطح التماس بين الماء والهواء وبدرجة حرارة هذا الماء مع المحافظة على مستوى معين لهذا الماء .

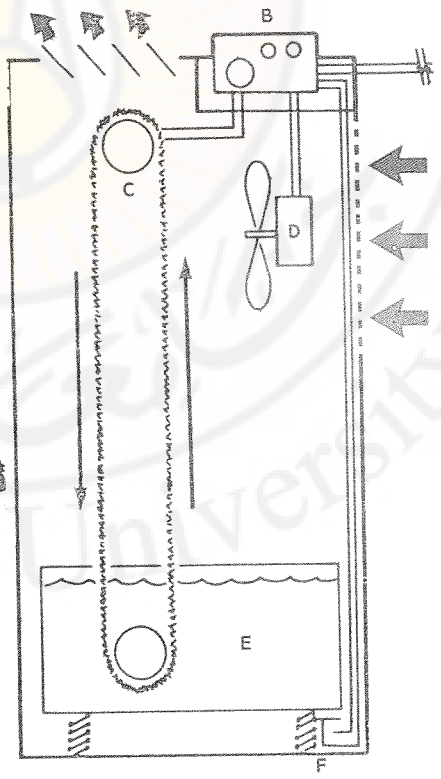
١٧ ـ ٦ ـ ٤ الترطيب بواسطة بخار الماء : حيث تتغير درجة حرارة

الهواء قليلا ويمكن انتاج البخار مباشرة في المرطبة بواسطة رفع درجـــــة حرارة الماء كهربائيـــــا او انتاج البخار بمرجل ومن ثم تخفيض ضغطـه وتوزيعـه على الاماكن المراد ترطيبهـــا ٠









Details of construction of electric humidifier.
heating element.

١٨ وشـــــيعة تبريد الهـــــواء

AIR COOLER COIL

ان وشيعة التبريد تختلف عن وشيعة تسخين الهواء فـــــي نقطتين هامتيـــــن :

أ ـ الاختلاف في درجة حرارة الماء الداخلة الى الوشيعة والخارجـــة منها ، فبينما تكون درجة حرارة الماء الداخلة الى وشيعة التبريـــد هي بحدود $7\ C^{\circ}$ والخارجة منها هي بحدود $13\ C^{\circ}$ مما يؤدى الى انخفاض في درجة حرارة الهواء تصل الى $16\ C^{\circ}$ ، فان درجـــة حرارة الماء الداخلة الى وشيعة التسخين والخارجة منها تكون حسب طريقة التدفئة المستعملة $90/70\ C^{\circ}$ او $80/70\ C^{\circ}$ او $150/70\ C^{\circ}$ مما يؤدى الى رفع درجة حرارة الهواء بحدود $35 \div 60\ C^{\circ}$. ويؤدى هذا الاختلاف الى ان تكون وشيعة التبريد ذات سطح تبـــادل تماسي كبير بالنسبة الى وشيعة التسخين .

ب ـ يحدث على وشيعة للتبريد تكاثف بخار الماء الموجود في الهـــواء وهذا يؤدى الى تعقيد في انتقال الحرارة على هذه الوشيعة .

١٨ ـ ١ انواع وشـــائع التبريـــــد

هناك ثلاثة انواع او اشكال من وشائع التبريد

١ ــ وشيعة التبريد على الماء المبرد Chilled Water Coil

٢ ــ وشيعة التبريد المباشرة Direct Expansion Coil

٣ ــ وشيعة التبريد على الماء المضافة اليه املاح كيميائية خاصة Chilled Brine Coil

ان وشائع التبريد تكون مصنوعة في اغلب احيان من انابيب افقية على سطحها شفرات بأشكال مختلفة ومركبة بشكل يسمح للماء المتكاثف من سطوح الشفرات والانابيب من التجمع اسفل الوشيعة . ان اقطار هذه الانابيب تتراوح بين 10 ÷ 20 mm وتكون مصنوعة عادة من النحاس مع شفرات من النحاس او الالمنيوم . وتفضل بواري نحاسية وشفرات نحاسية لمقاومتها للصدأ . ان الشفرات تكون بشكل مسطح ملفوفة حلزونيا او بشكل دائرى مماسة بشكل مباشر مع انابيب الماء .

ان الشكل التالي يوضح هذه الانواع

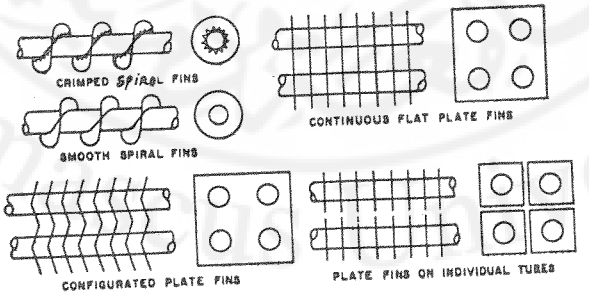
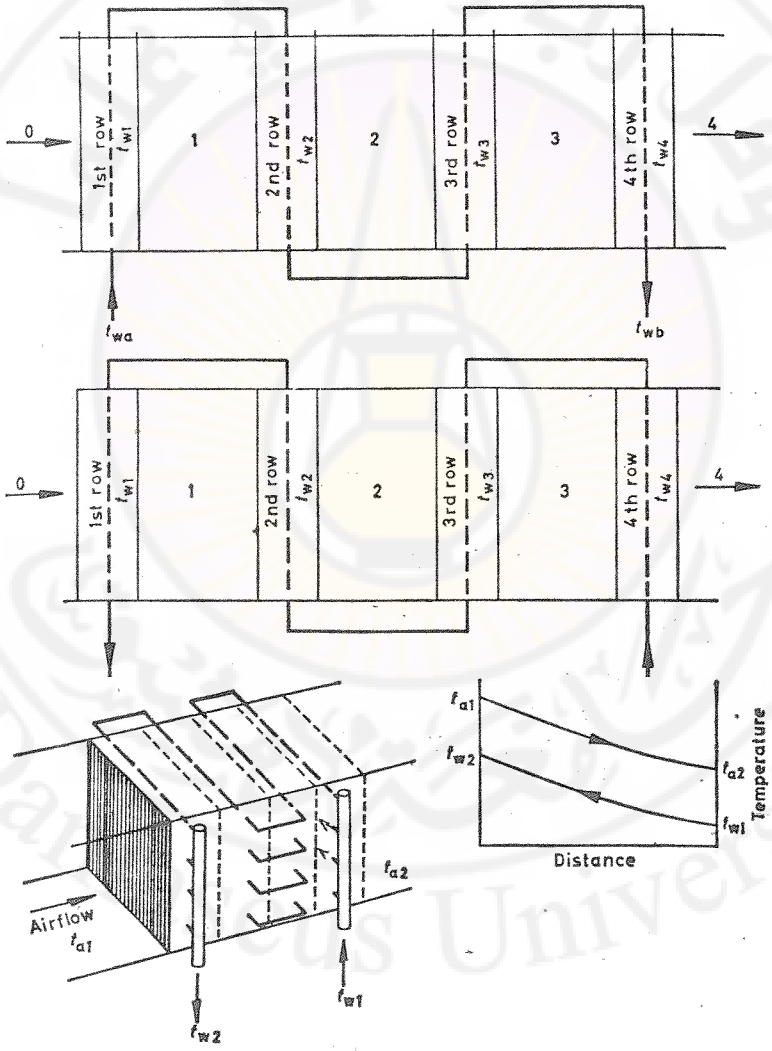


Fig. 1 .... Types of Fin-Coil Arrangement

ان جريان الهواء والماء في وشيعة التبريد يمكن ان يكـــون بجريان متواز او جريان متعاكس او جريان متصالب كما يبينـه الشكل



اربعة
oler

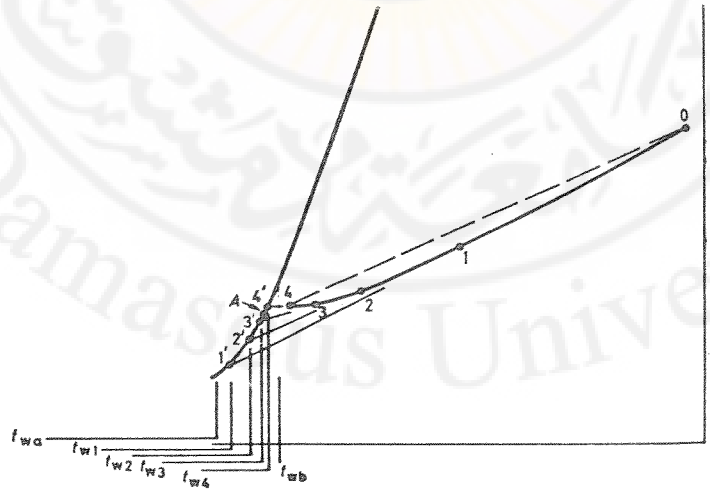
ان سرعة الماء في الانابيب تتراوح في اكثر الاحيان بيـــــن 1-2 m/s كما أن مردود وشائع التبريد ذات الجريان المتعاكس تكـــون

اعلى من مردود وشائع التبريد ذات الجريان المتوازى وذلك بسبب زيـــادة عامل انتقال الحرارة ، وان درجة حرارة الهواء الخارج من وشيعة التبريد ذات الجريان المتعاكس تكون اقل من درجة حرارة الهواء ذات الجريـــان المتوازى وبنفس المواصفات . وان الشرح التالي يوضح ذلك :

لنفرض انه لدينا وشيعة تبريد بثلاثة صفوف 3row وان الهـواء يدخل الى الصف الاول بالحالة 0 ، وان الماء يدخل الى الصـف الاول بدرجة حرارة t_{wa} ،وان درجة حرارة الماء ترتفع ، وذلك بامتصاص كميـة من الحرارة من الهواء الداخل الى الوشيعة الى درجة حرارة اخرى يعبـر عنها بدرجة الحرارة الوسطية لسطح الصف الاول من الوشيعة ، اى t_{w1} . فاذا فرضنا ان عامل التلامس للصف الاول من وشيعة التبريد هو واحد فـان الهواء سوف يخرج من الصف الاول من الوشيعة بالحالة 1 . وفـــي الحقيقة فانه يوجد عامل تلامس CF1 اقل من الواحد وبهذا فان الهـــواء سوف يخرج من الصف الاول لوشيعة التبريد بحالة 1 . ان الحالـة 1 هي حالة دخول الهواء الى الصف الثاني من وشيعة التبريد بدرجة حـرارة سطحية متوسطة t_{w2} . وبنفس الطريقة فان حالة الهواء الخارجة مـــن الصف الثاني من وشيعة التبريد تكون 2 باعتبار ان عامل التلامس للصـف الثاني من وشيعة التبريد هو CF2 وقيمته اقل من الواحـــد . ان الحالة للهواء هي حالة الهواء الذى يدخل الى الصف الثالث من وشيعة التبريد حيث درجة حرارة سطحية الفعالة هي3 . ان الخط الذى يصل بين النقطة 0 والنقطة 3 يمثل تغير حالة الهواء عند مروره خلال وشيعة التبريد ذات الجريان المتوازى كما هي ممثلة على المخطط السايكومترى . ان هـــذا

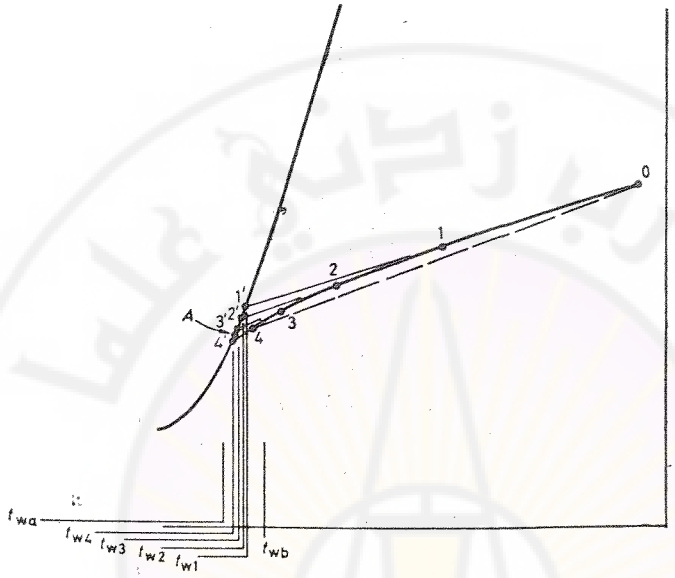
الخط يقطع منحني الاشباع بالنقطة A حيث تعتبر هذه النقطة هي درجة حرارة سطح وشيعة التبريد الفعالة ٠

وبنفس الطريقة يمكن دراسة الجريان المتعاكس ولكن النتيجة تختلف عن الطريقة الاولى ٠ وكما هو واضح من الشكل فان منحني التحول نحصل عليه بوصل النقاط 0 و 1 و 2 و 3 ٠ أن الهواء الداخل الى الصف الاول من وشيعة التبريد يلامس صف بدرجة حرارة فعالة t_{w1} اعلى من درجة الحرارة الفعالة للصفوف الاخرى ٠ وعند جريانه في الصف الثالث من الوشيعة فانه سيلامس صفا بدرجة حرارة فعالة اقل من الصفوف الاخرى٠ اى ان منحني حالة الهواء سيكون منحنيا الى الاسفل٠ وهذا يؤدى بالمقارنة مع الجريان المتوازى بان درجة حرارة الهواء الخارجة من الوشيعة ذات الجريان المتعاكس ستكون اقل من درجة حرارة الهواء الخارج من وشيعة التبريد ذات الجريان المتوازى ٠



Parallel flow

جريـــان متـــوازى



Contra-flow

جـــريان متعـــــاكس

١٨ ــ ٢ الحسابات الحرارية الى وشيعة التبريد :

في اكثر الاحيان يكون المطلوب عند حساب وشيعة التبريد هو حساب استطاعة وشيعة التبريد او حساب سطح وشيعة التبريد بمعرفة المعلومات الاخرى . ننطلق في الحسابات من العلاقة التالية

$$q_t = U_t \cdot A_t \cdot \Delta t_m$$

حيث U_t هو عامل النفوذ الحرارى بالنسبة الى السطح الكلي لوشيعة التبريد

A_t هو السطح الكلي لوشيعة التبريد

Δt_m الفرق الوسطي اللوغارتمي لدرجات الحرارة

$$\Delta t_m = \frac{(t_1 - t_{w2}) - (t_2 - t_{w1})}{lg\ (t_1 - t_{w2})(t_2 - t_{w1})}$$

حيث t_1 درجة حرارة الهواء الداخلة الى وشيعة التبريد

" " " الماء " " " " t_{w1}

" " " الهواء الخارجة من " " t_2

" " " الماء " " " " t_{w2}

ان قيمة Ut هـــــي

$$Ut = \frac{1}{Ra + Rm + Rw} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha a} + \frac{S}{\lambda} + \frac{1}{\alpha w}}$$

ان انتقال الحرارة الى وشيعة التبريد يحتوى على ثلاث مراحل وهـــي :

١ ــ انتقال الحرارة بالحمل من التيار الهوائي الى السطح الخارجـــي للشفرات وللانابيب

٢ ــ انتقال الحرارة بالتوصيل خلال الشفرات وجدار الانابيب الى السطح الداخلي لهـــا

٣ ــ انتقال الحرارة بالحمل من السطوح الداخلية للانابيب الى المائـــع المبـــرد

ان عامل انتقال الحرارة بالحمل من ناحية الهواء $\alpha a = w/m^2 c^\circ$ يتعلق بالدرجة الاولى بسرعة التيار الهوائي وان قيمتـه بالنسبة الى وشيعة التبريد بأنابيب staggered tube arrangement وعدد مـــــن

الشـــفرات يتراوح بين 300 شفرة لكل متـــر هـــي

W_a m/s	1	1,5	2	2,5	3	3,5
α_a W/m^2C°	35	45	54	62	69	75

حيث القيم المذكورة سابقا تطبق من اجل السطح الخارجي الكلي لوشيعـة التبريد وليست الى السطح الوجهي لها Face Area علما بأنه يمكن التعبير عنها بالنسبة الى السطح الوجهي لوشيعة التبريد اذا كـان ذلك مناسبا . ان هذه القيم المذكورة يجب ان تزاد اذا كانت وشيعـــة التبريد تستعمل للتبريد ولازالة الرطوبة وذلك بتقسيمها على GSHF والذى يســـاوى

$$GSHF = \frac{q_s}{q_t}$$

اذا كانت وشيعة التبريد تتألف من قضبان بدون شـفرات فـان المقاومة الحرارية لها تكون معدومة تقريبا ، علما بان المقاومة الحرارية هـي النسبة بين سماكة الانبوب وعامل التوصيل الحرارى له ، وباعتبار ان الوشائع التبريدية العملية تحتوى على شفرات موزعة على محيط الانابيب فان المقاومـة الحرارية لها لا يمكن اهمالها وتساوى بالنسبة لهذه الوشائع تقريبـــــا $0,0009 \div 0,005\ m^2C^\circ/W$ وذلك تبعا الى السطح الخارجي الكلي لها . ان عامل انتقال الحرارة بالحمل من السطح الداخلـي الى مائـــع التبريد داخل الانابيب يتعلق بطريقة التبريد ، طريقة مباشـــرة DX او غير مباشـــرة .

ان وجود طبقة من الاوساخ او الاملاح داخل الانابيب لهـــا

تأثير على قيمة عامل انتقال الحرارة بالحمل لا يمكن اهماله ، علما بأن تأثير الاملاح كبير في المبخرات والمكثفات نوع shell and tube . ان قيمة المقاومة الحرارية الى المكثف من هذا النوع والذى يبرد بواسطة برج تبريد يمكن اعتبارها مساوية الى $0,000176\ m^2c°/w$ مع الاخذ بعين الاعتبار طبقة الاملاح المتشكلة، بينما في المبخر من هذا النوع والذى فيه ماء نظيف بدارة مغلقة فان قيمة المقاومة الحرارية يمكن اعتبارها مساوية الى $0,000088\ m^2c°/w$ ، اما اذا كان وسيط التبريد يتبخر داخل المبخر فانه سيكون نظيفا تماما من الاملاح في هذه الحالة .

ان القيم التالية للمقاومة الحرارية $m^2c°/w$ يمكن اعتبارها ويمكن تطبيقها الى مساحة السطح الداخلية الى الانابيب . اما حين تطبيق هذه الارقام بالنسبة الى مساحة السطح الخارجي فيجب زيادتها بضربها بنسبة مساحة السطح الخارجي الى السطح الداخلي

سرعة الماء داخل الانبوب m/s	القطر التقريبي الداخلي للانبوب			
	15 mm		25 mm	
	5 C°	15 C°	5 C°	15 C°
0,4	0,00064	0,0005	0,00069	0,00064
0,5	0,00053	0,00042	57	53
0,75	0,00037	0,00029	42	36
1,00	0,00028	22	33	27
1,25	0,00023	19	27	22
1,50	0,00021	17	23	20
1,75	0,00018	15	20	18
2,00	0,00016	14	18	16
2,25	0,00015	13	17	15
2,50	0,00014	0,00012	0,00016	0,00014

وكما هو واضح فان هذه المقاومة تابعة الى سرعة جريان المـــاء داخل الانبوب وقطر الانبوب ودرجة الحرارة الوسطية داخله ، وان التأثيـــر الفعال على قيمة المقاومة الحرارية هو سرعة جريان الماء داخل الانبوب .

يمكن الان التعبير عن عامل النفوذ الحرارى من العلاقـــة

$$\frac{1}{U_t} = Ra + Rm + Rw$$

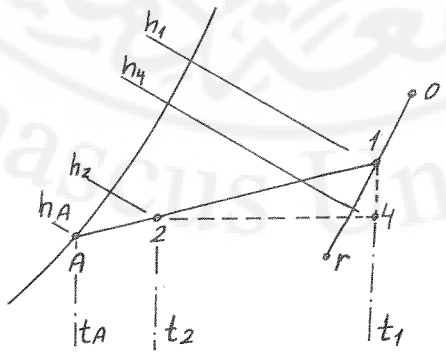
حيث Ra المقاومـــة الحرارية من جهة الهواء

Rm المقاومة الحرارية للانبـــوب

Rw المقاومة الحرارية من جهة الماء المبردة (او وسيط التبريد)

١٨ ــ ٣ عامل التلامس او عامل التحويل لوشيعة التبريد :

لقد عرّفنا سابقا عامل التلامس او عامل التحويل لوشيعـــــة التبريد على المخطط السايكومترى. وكما سنرى لاحقا فان هذا التعريف له فائدة كبيرة في حساب وشائع التبريد .



ان عامل GSHF لوشيعة التبريـــد هو

$$GSHF = \frac{h_4 - h_2}{h_1 - h_2} = \frac{ma \cdot Ca\,(ta_1 - ta_2)}{q_t} = \frac{q_s}{q_t}$$

فاذا اخترنا درجة حرارة الهواء $13\ ^{\circ}C$ (علما بأنه مجرد اختيار) يمكننا حساب q_s من المعادلـــــة التاليـــــة

$$q_s = V_t \cdot (t_{a1} - t_{a2}) \cdot \frac{358}{273 + t}$$

$$q_s = V_t \cdot (t_{a1} - t_{a2}) \cdot 1,25$$

من المعادلة السابقة والمعادلـــة الاخيرة يمكننا كتابـــــــة

$$q_t = \frac{q_s}{GSHF} = \frac{V_t\,[m^3/s] \cdot (t_{a1} - t_{a2}) \cdot 1,25}{GSHF}$$

هذا ويمكننا التعبير عن الحرارة المحسوسة بمعرفة المقاومة للحرارة مـــــن جهة الهواء لوشيعة التبريد Ra وسطح التبادل الحرارى الخارجـــــي لوشيعة التبريد

$$q_s = \frac{At}{Ra} \cdot \Delta t_m$$

حيث At هو السطح الخارجي الكلي لوشيعة التبريد

Δt_m هو فرق درجة الحرارة اللوغارتمي الوسطي بين التيار الهوائـي ودرجة الحرارة الوسطية لوشيعة التبريد t_A

$$\Delta t_m = \frac{(t_{a1} - t_A) - (t_{a2} - t_A)}{lg\,(t_{a1} - t_A)/(t_{a2} - t_A)}$$

ومنـــه تصبـــح المعادلـــــة

$$q_s = \frac{At}{Ra} \quad \frac{ta_1 - ta_2}{lg\,(ta_1 - t_A)/(ta_2 - t_A)}$$

$$V_t \cdot (ta_1 - ta_2) \cdot 1{,}25 = \frac{At}{Ra} \cdot \frac{ta_1 - ta_2}{lg\,(ta_1 - t_A)/(ta_2 - t_A)}$$

ومنـــه

$$lg\,(ta_1 - t_A)/(ta_2 - t_A) = \frac{At}{Ra} \cdot \frac{1}{1{,}25 \cdot V_t}$$

وباعتبـــار انـــه $V_t\,[m^3/s] = A_f \cdot W_f$

حيث A_f هو السطح الوجهي الى الوشيعة بـ m^2 Face Area

W_f هي السرعة الوجهية للتيار الهوائي m/s Face Velocity

$$lg\,(ta_1 - t_A)/(ta_2 - t_A) = \frac{At}{Af} \cdot \frac{1}{Ra \cdot Wf \cdot 1{,}25} = K$$

حيث K عامل ثابت من اجل وشيعة معينة ومن اجل سرعة وجهية معينة

هذا ويمكننا ان نكتب المعادلة السابقة بالعلاقة

$$\frac{ta_2 - t_A}{ta_1 - t_A} = e^{-K} = BF = 1 - CF$$

$$1 - CF = e^{-K}$$

فاذا فرضنا ان عدد صفوف وشيعة التبريد هو n وان A_n السطح الكلـي لصف واحد من وشيعة التبريد فيكـــون

$$At = An \cdot n$$

$$K = \frac{An}{Af} \cdot \frac{n}{Ra \cdot Vf \cdot 1{,}25}$$

ويمكـــن التعبيـــــر عن عامل التلامس بـ

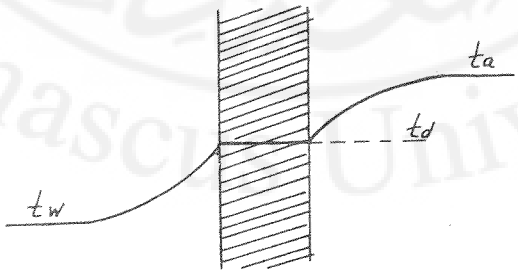
$$CF = 1 - \exp\left(-\frac{An}{Af} \cdot \frac{n}{Ra \cdot Vf \cdot 1{,}25}\right)$$

من المهم ان نعرف ان عامل التلامس لوشيعة التبريد يتعلـــق بحالة الهواء او بدرجة حرارة الماء المبردة بفرض ان النسبة بين كتلة التيـــار الهوائي Kg/s الى كتلة الماء المتدفقة Kg/s يبقى ثابتـــا ٠

١٨ ــ ٤ وشيعة التبريد المحسوس Sensible Cooling Coil :

اذا كانت درجة حرارة السطح الخارجية لوشيعة التبريد فـــي كل اجزائها واقسامها اعلى من درجة حرارة نقطة الندى الى التيار الهوائـي الداخل الى الوشيعة، فان لا يحدث اى تكاثف الى بخار الماء الموجود فـي الهواء ويكون تبريد الهواء هو تبريد محسوس فقط ، اى انه توجـد درجـة حرارة معينة مسموح بها لماء التبريد او لوسيط التبريد داخل الوشيعـــــة للحصول على التبريد المحسوس ٠

ان الشكل يوضح تغير درجة الحرارة خلال سطح انبـــــوب المبادل الحـــــرارى ٠



فاذا فرضنا ان درجة حرارة التيار الهوائي الجافة ta ودرجة حرارته الرطبة

t_d فانه ومن معادلة التوازن الحرارى يمكننا كتابة المعادلات التالية :

$$q_t = q_s = \frac{t_a - t_{dp}}{R_a}$$

$$q_t = q_s = \frac{t_d - t_w}{R_w}$$

$$q_t = q_s = \frac{t_a - t_w}{R_t}$$

وباعتبار انه يوجد على محيط انابيب وشيعة التبريد شفرات للمساعدة على انتقال الحرارة ، فان درجة حرارة السطح الخارجي لهذه الانابيب يجب الا تكون في اى جزء منها اقل من درجة حرارة نقطة الندى للهواء وذلك للحصول على تبريد محسوس فقط .

من المعادلة الاولى والمعادلة الاخيرة يمكننا ان نحصل على اقل درجة حرارة لماء التبريد للحصول على تبريد محسوس فقط

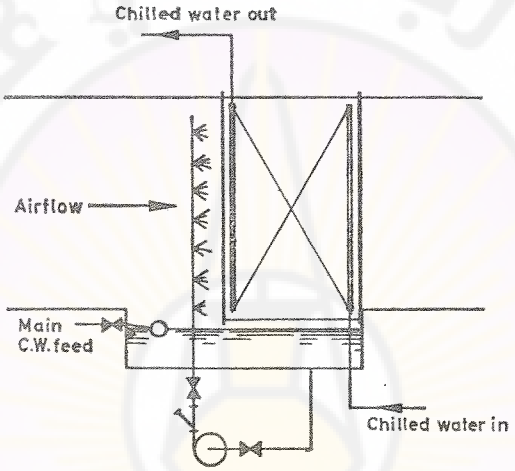
$$\frac{t_a - t_{dp}}{R_a} = \frac{t_a - t_w}{R_t}$$

ومنه نحصل على درجة حرارة الماء المسموح بها للحصول على تبريد محسوس

$$t_w = t_a - \frac{t_a - t_{dp}}{\frac{R_t}{R_a}}$$

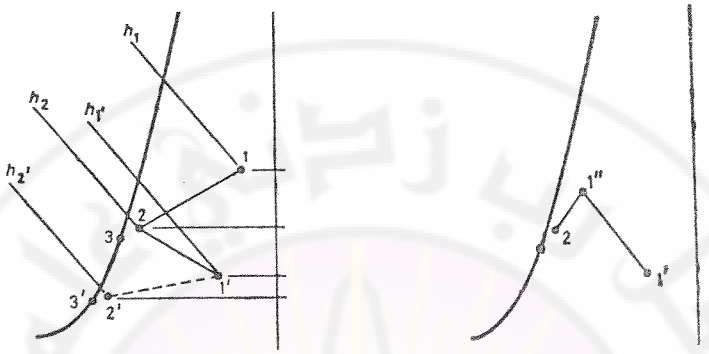
١٨ ـ ٥ وشيعة التبريد المبخوخة Sprayed Cooler Coils

ان وشيعة التبريد SCC تغذى بماء مبرد او وسيط تبريد وموجهة باتجاه بخاخات ماء بعيدة قليلا عن سطحها كما يوضحه الشكل،



حيث يبخ الماء على سطح الوشيعة. ان وظيفة SCC الاولية هو الترطيب عند عمل وحدة التكييف في الشتاء . ان سطح وشيعة التبريد الكبير يؤمن خروج هواء بحالة مشبعة . كما ان وظيفتها هي زيادة انتقال كمية الحرارة ولغسل وشيعة التبريد باستمرار.

فاذا فرضنا أن لدينا وشيعة تبريد بدون بخ الماء عليها ومختارة بحيث تبرد وتنقص من نسبة الرطوبة من الحالة 1 الى الحالة 2 في فصل الصيف . انه في فصل الخريف وفصل الربيع تكون حالة الهواء 1' والحالة الخارجة من وشيعة التبريد 2' ، حيث تكون نسبة الرطوبة للهواء منخفضة جدا . فاذا استعملت وشيعة تبريد مع بخ الماء SCC ،فان العمل الصيفي يكون 2 او بحالة قريبة جدا من 2 . اما في فصل الخريف او



الربيع فمن الممكن ان تكون حالة الهواء الخارجة 2 (اذا كانت حالة الهواء 1'). وتفسير ذلك بأن التحول يكون من 1' الى 1'' ترطيب اديباباتي ثم تبريد من 1'' الى 2 . ان افضلية scc عن غسالات الهواء هو انها تقوم بعملية تبريد وترطيب معا . كما أن مجمع الماء والذى درجة حرارة الماء فيه مساوية لدرجة حرارة خروج الهواء يكون مثل reservoir اثناء التحكم بوشيعة التبريد .

١٨ ـ ٦ وشيعة التبريد المباشرة Direct Expansion Coils :

ان انتقال الحرارة في وشيعة التبريد المباشرة مشابهة لانتقال الحرارة في وشيعة التبريد غير المباشرة مع بعض التعديل . ان عامل المقاومة الحرارية لطبقة وسيط التبريد داخل الوشيعة غير ثابت ويتحول نتيجة غليان وسيط التبريد داخل الوشيعة . فاذا اعتبرنا ان R_r هي المقاومة الحرارية الداخلية في انابيب التبريد فان اللائحة التالية تعطي قيمة R_r بـ $m^2 C^\circ / W$ بالنسبة الى كمية وسيط التبريد .

السعة التبريدية	القطر الخارجي لانبوب الوشيعة		
KW/circuit	12 mm	15 mm	18 mm
1,75	0,00070	----	----
2,46	0,00047	----	----
2,81	----	0,0070	----
4,21	----	0,00044	0,00070
5,26	----	0,00035	----
5,98	----	----	0,00047

ان د رجة حرارة وسيط التبريد د اخل الوشيعة ثابتة لا تتغير ما عد ى نهاية الد ورة حيثيتبخر جميع وسيط التبريد ويصبح بخارا محمصا ٠ وان مواصفات هذ ه الوشيعة تد رس في آلات التبريد بشكل واسع ٠

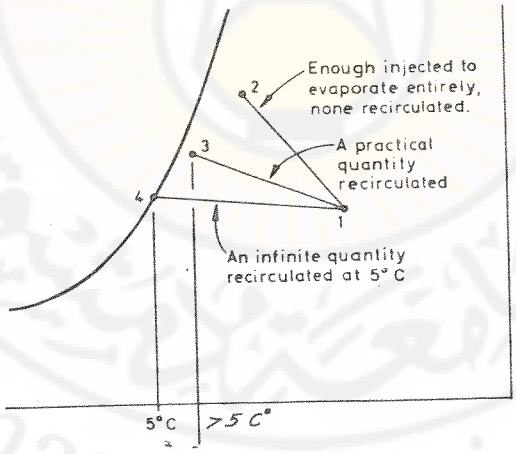
١٨ ــ ٧ الفرق بين وشيعة التبريد وغسالات الهواء :

ان تبريد الهواء بواسطة تبخر الماء بواسطة الاشباع الاد ياباتيكي
The evaporative cooling of air by adiabatic saturation
يمكن الحصول عليه بواسطة خفض د رجة حرارة مياه التغذية الى غسالة الهواء ولكن نتيجة التبريد تكون قليلة اذا تبخرت كل كمية المياه المغذاة بها ٠ ان الصورة تتغير اذا كانت نسبة المياه المحقونة (المبخوخة) تزداد بحيث انه يتم تبخر قسم قليل منها والقسم الآخر يتساقط في مستودع الغسالة وتعاد د ورته مرة ثانية *recirculated* ٠

اذا كانت كمية الماء المبخوخة لا نهائية بد رجة حرارة t_w اكبر من د رجة حرارة نقطة الند ى للهواء ٠ فان د رجة حرارة الهواء في المستودع

تكون بدرجة حرارة t_w وبحالة الاشباع. اما اذا كانت درجة حرارة الماء الدوارة اقل من درجة حرارة نقطة الندى الى الهواء الداخل الى غسالة الهواء ،فان الغسالة يمكن ان تنقص من نسبة الرطوبة لهذا الهواء . وان التحكم بتبريد الهواء وخفض نسبة رطوبته يمكن القيام به بواسطة صمام ثلاثي يغير من درجة حرارة الماء المبخوخة الى غسالة الهواء . في غسالات الهواء المستعملة للتبريد وخفض نسبة الرطوبة تكون كمية الماء المبخوخة والدوارة كبيرة جدا بالمقارنة بكمية الماء الكلية التي تتبخر .

ان درجة حرارة الماء تلعب الدور الرئيسي بمواصفات الهواء الخارجة من الغسالة . وان الشكل التالي يبين ذلك ، كما ان كمية الماء الدوارة تلعب دورا رئيسيا ايضا .



وعلى كل حال فان غسالات الهواء اقل فائدة في التبريد وتقليل نسبة الرطوبة في وشائع التبريد . والسبب في ذلك ان غسالات الهواء لايحدث فيها جريان عكسي contra - flow باستثناء نوع capillary washer . عند ما تترك نقطة الماء البخاخ فان اتجاه جريانها يكون

لمسافة قصيرة اما باتجاه او ضد تيار الهواء ، وبعد ذلك فانها تسقط على المستودع المجمع. ولهذا لا يمكن الحصول على درجة حرارة الهواء الخارج اقل من درجة حرارة الماء في المستودع .

هذا وللحصول على تذرير فعال ، يجب ان يكون انخفاض الضغط خلال البخاخ المستعمل في وعاء التذرير كبير بحيث يسمح بالتذرير الجيد . اذا حاولنا تعديل سعة غسالة الهواء بواسطة تقليل كمية الماء المبخوخة في البخاخات . فان ذلك لن يكون مفيدا لأن ذلك يؤدي الى انخفاض الضغط خلال البخاخ وبالتالي الى عدم تذرير فعال للماء .

ان البخاخات العادية يتراوح كمية البخ لها بين 0,025 litr/s بانخفاض ضغط 70 KN/m^2 بقطر الفوهة 2,5 mm الى 0,3 litr/s بانخفاض ضغط 280 KN/m^2 وقطر الفوهة 6,5 mm

ان مردود المرطبات يختلف باختلاف وضع بخاخات الماء ويمكن اعطاؤها بالشكل التالي

1	bank down stream	50%	
1	" up stream	65 - 75%	
2	" down stream	85 - 90%	for face velocities of
"	" up stream	92 - 97%	airflow over the section
"	" in opposition	90 - 95%	at 2,5 m/s (1,75 - 3,75
3	" up stream	95%	m/s)

عند مقارنة غسالات الهواء مع وشائع التبريد فان غسالات الهواء لهـا العيوب التاليـة

١ ـ هي اكبـــر حجما من وشـــائع التبريـــد

٢ ـ هي اكثـــر تعرضـــا الى التأكسد من وشائع التبريـــد

٣ ـ هي اكثـــر صيانة واكثر كلفـــة من وشائع التبريـــد

٤ ـ تستعمل ماء باردا بدارة مفتوحة وهذا يؤدى الى تشكل الاملاح والاوساخ في المبخر والتي تؤدى الى خفض في مردوده وزيـــادة في سعر آلات التبريـــد .

وهناك فائدة وميزة جيدة الى غسالات الهواء والمبردات المبخوخـــة عن وشائع التبريد ، وهي وجود كمية كبيرة من الماء في المستودع التابع لغسالة الهواء تعطي قصورا ذاتيا حراريا الى المجموعة يؤدى الـــى تغيرات ناعمة لحالة الهواء الخارج من غسالة الهواء ويضيف استقـــرارا لعملها والى اجهزة التحكم والمراقبـــة .

ومع هذا فان استعمال غسالات الهواء للتبريد هو خارج عـــن الموضة في الوقت الحاضر باعتبار ان وشيعة التبريد ذات مردود افضـــل وللعيوب الاربعة المذكورة سابقا out of fashion .

١٨ ـ ٨ اختيار وشيعة التبريد :

عند اختيار وشيعة التبريد يجب الاخذ بعين الاعتبار العوامل التاليـــة :

١ ـ وظيفة الوشيعة في التبريد ، تخفيض نسبة الرطوبـــة ، سعتهـــا الحرارية المطلوبـــة

٢ ـ درجة حرارة الهواء الجافة الداخلة اليها اذا كانت تستعمل للتبريد

المحسوس ، ود رجة حرارة الهواء الجافة والرطبة اذا كانت تستعمل للتبريد وتخفيض نسبة الرطوبة .

٣ ـ نوع سائل التبريد المستعمل ود رجة حرارته ،ماء ،ملح ، وسـيط تبريـد

٤ ـ ابعاد الوشيعة

٥ ـ كمية الهواء المحددة لها

٦ ـ الضياع الضغطي المسموح به في جهة التيار الهوائي

٧ ـ الضياع الضغطي المسموح به في جهة وسيط التبريد

٨ ـ نوع التحكم المستعمل ، مواصفات الهواء التأكسدية وغيرها

٩ ـ السرعة الوجهية لوشيعة التبريد .

١٩ مصـــــافي الهـــــواء
AIR FILTERS

ان الهواء الجوى يحتوى على ملوثات يمكن تقسيمها الى اربعـة اصناف :

- ملوثات صلبـــة
- ملوثات سائلـــة
- ملوثات غازيـــة
- ملوثات عضويـــة

وهذا التصنيف غير مستعمل كثيرا لعدم وجود حدود صحيحة تفصل بينهـا ، لذلك يستعمل في اكثر الاحيان تصنيف الملوثات طبقا الى قطرها كما يلي :

أ ـ الغبـار dusts ذات القطر $<100\mu m$: ان الغبـار مادة صلبة تنتج اما من قبل الانسان او بشكل طبيعي نتيجة التآكل فـي الطبيعة ونقله من مكان الى آخر . ان الغبار يبقى على الارض نتيجـة الجاذبية الارضية ويتطاير عند وجود التيارات الهوائيـة .

ب ـ Fumes $<1\mu m$: تكون ذات طبيعة صلبة وتتشكل بطـرق مختلفة بواسطة التسامي sublimation للغازات التي هي بحالـة صلبة بدرجة الحرارة العادية والضغط العادى . ان فلزات المعادن يمكـن استعمالها لانتاج الـ fumes .

جـ ـ الدخان smokes بقطر $\phi<1\mu m$: ان الدخان يمكـن اعتباره حالة صلبة يتشكل عند ما يكون الاحتراق غير كامل وبتعبير اوفى هـو

هو خليط من الحالة الصلبة والسائلة والغازية تتشكل عند الاحتراق الغير كامل في المعامل او في افران البيوت ، ويتراوح قطرها بين 0,1 µm و 1 µm بينما دخان التبغ اصغر بكثير ويتراوح بين 0,05 µm و 0,1 µm .

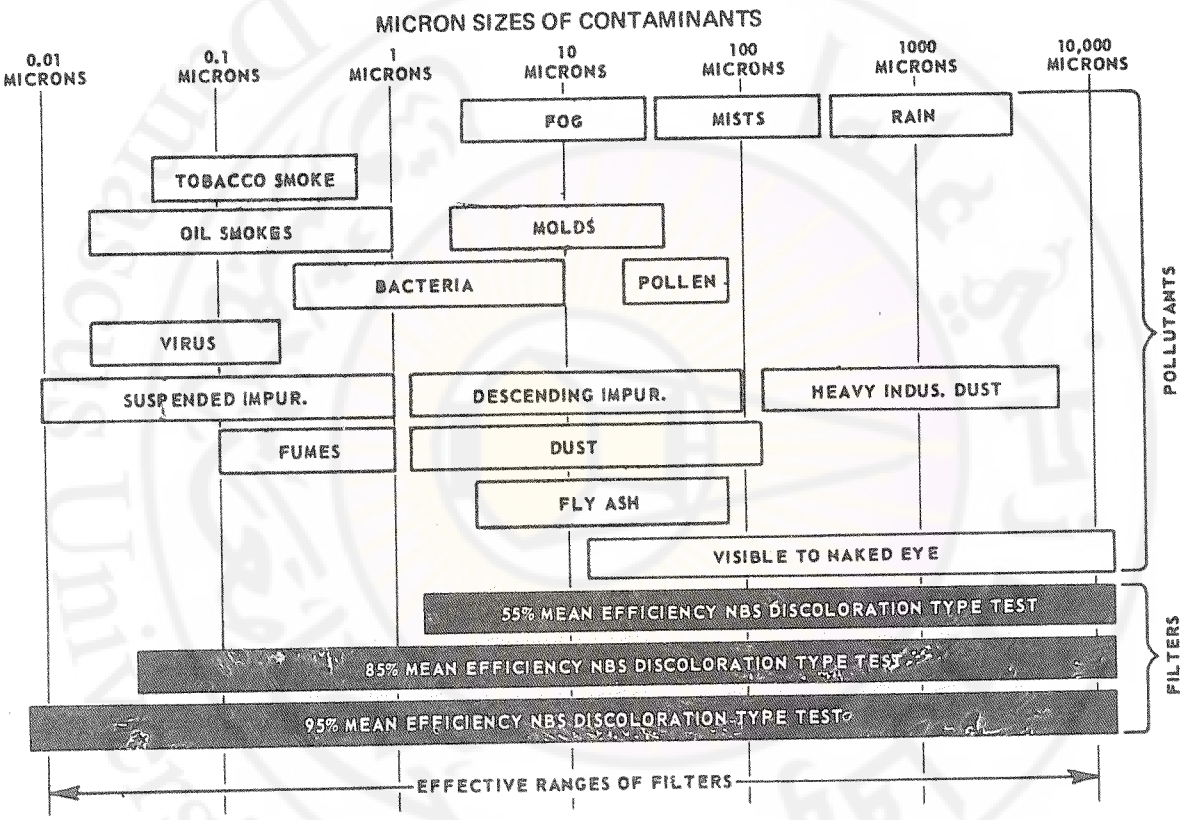
د ـ الضباب Mists and Fogs وقطرها <100 µm : وهي عبارة عن نقطة صغيرة بالحالة السائلة عند درجة الحرارة العادية والضغط العادى وان حجمها الطبيعي بين 15 ÷ 35 µm .

هـ ـ البخار والغاز Vapours and Gases : وهي مواد بحالة غازية عند درجة الحرارة العادية والضغط العادى . والفرق بينها ان البخار vapours يمكن ازاحته عند تبريد الهواء الى درجة اقل من درجة حرارة نقطة الندى ، بينما لا يمكن ذلك بالنسبة للغاز .

و ـ المواد العضوية Organic Particles : وهي عبارة عن الباكتريا bacteria 0,2÷5µm والفطريات spores of fungi 1÷20µm والفيروسات virus < 1 µm وغبار الطلع pollen 5÷150 µm . ان بعض هذه المواد العضوية تنتقل بواسطة قطرات الماء الموجودة في الهواء من مكان الى آخر .

من ذلك ينتج ان مصفيات الهواء تعتبر من الاجزاء التي لا يمكن الاستغناء عنها لأجهزة التكييف والتهوية المستخدمة لأعمال الراحة وللأعمال الصناعية .

ان تعريف المصفاة هو شريحة من مادة مسامية يعبر من خلالها الهواء مع مواد صلبة او سائلة بحي ان القسم الاكبر من هذه المواد يبقى عالقا بهذه الشريحة .



Micron sizes of common air contaminants. (Arco Mfg. Corp.)

١٩ ـ ١ ميكانيكية تجمع الذرات Mechanisms of Particle Collection

هناك عدة مبادئ نطبقها على مصافي الهواء عند جمعها للمواد العالقة بالهواء وهي

آ ـ التصادم impaction : حيث يغير التيار الهوائي من اتجاهه بينما تستمر الذرات في اتجاهها نتيجة القوة النابذة وبالتالي الى تجمعها على المصفي او على السطح او في اسفل الوعاء. ان هذا المبدأ يستعمل في المصافي visco-impaction ومردودها جيد عندما تكون الذرات ذات حجم كبير.

ب ـ الفصل straining : اذا مر التيار الهوائي بين ليف او نسيج المصفاة حيث المسافات بينها اقل من قطر الذرة الغبارية فان هذه الذرة تحجز وتعلق على المصفاة وهي صالحة بالنسبة للذرات ذات الحجم الكبير.

جـ ـ diffusional effects : ان الذرات (الاجزاء) الى التيار الحامل للملوثات تصطدم بهذه الملوثات ذات القطر الصغير وتغير من مسارها ويؤدي الى تماسها مع سطح المصفاة وتعلقها به.

د ـ التأثير الكهربائي electro-static effects : عندما تتحرك ذرة الغبار بالقرب من سطح المصفاة يمكن ان تتولد بين الذرة وسطح المصفاة قوى كهربائية ساكنة. تكون هذه القوى الكهربائية طبيعية او صنعية بحيث يؤدي ذلك الى ان تتجاذب الشحنات المختلفة.

هـ ـ الترسيب sedimentation : ان ذرات الغبار وبتأثير الجاذبية الارضية لا تتبع الغبار الحامل لها وبهذا تصل الى التماس مع

سطح شريحة المصفاة ٠

و ـ الالتصاق adhesion : ان تأثير قوى التصاق بعض ذرات الغبار عند تماسها مع سطح المادة المصفية تؤدى الى التصاقها وعدم خروجها منها ٠

ان تأثير هذه العوامل مجتمعة هو الذى يجرى في المصفاة علما بأن بعض هذه العوامل تكون لها الغالبية بالنسبة الى العوامل الاخرى وبالنسبة الى نوع معين من الغبار ٠

١٩ ـ ٢ مواصفات مصافي الهواء :

كل مصفاة هواء تتميز بالمواصفات التالية :

أ ـ المردود : وهو نسبة كتلة الغبار العالق بالمصفاة الى كتلة الغبار الداخل الى المصفاة وبالنسبة الى مصفاة جديدة وغير مستعملة٠ وهناك طريقتان لمعرفة مردود المصفاة ٠ الطريقة الاولى وتعتمد على مبدأ الوزن gravimetric test والثانية تعتمد على مبدأ discoloration test ففي الطريقة للاولى نحسب مردود المصفاة بالعلاقة التالية :

$$\text{مردود المصفاة} = \frac{\text{كتلة الغبار العالقة بالمصفاة}}{\text{كتلة الغبار الداخلة الى المصفاة}} \times 100$$

والطريقة المتبعة هي تغذية التيار الداخل الى المصفاة بالغبار بكميات معروفة ومعلومة ، ثم قياس كتلة المصفاة قبل وبعد التجربة ومنها معرفة مردود المصفاة ٠ ان الغبار المستعمل عبارة عن بودرة مع المنيوم بمواصفات معينة وطبقا الى B.S 2831 : 1971

اما الطريقة الثانية ، وطبقا الى نفس النورم ، فانه يحقن الى

تيار الهواء محلول من methylene - blue dye مع الماء قبل المصفاة . وعند مروره في المجارى التي تؤدى الى المصفاة فان الماء يتبخر ويبقى blue-dye في المجرى الهوائي وكأنها ذرات صلبة صغيرة .

ان هذه الذرات هي بقطر يتراوح بين 0,2 - 2 mm و 50% منها وزنا هي بقطر اكبر من 0,5 mm .

وبامرار هذا التيار على المصفاة البيضاء ومعرفة صبغة هذه المصفاة يمكن قياس مردود هذه المصفاة .

هذا وهناك طرق اخرى لقياس مردود المصفاة طبقا الى مواصفات البلد الصانع .

ب ـ الضياع الضغطي للمصفاة air-flow resistance وهو انخفاض الضغط الستاتيكي خلال المصفاة عند تدفق تيار هوائي معين .

ج ـ امكانية المصفاة تصفية الغبار الى مقياس معين .

د ـ حياة المصفاة

وتعريفها هو كتلة الغبار الذى يعلق بالمصفاة حيث يرتفع الضياع الضغطي لها من القيمة الاولية ولغاية 125 N/m^2 او هي الضياع الضغطي للمصفاة عند ما تصبح بضعف الضياع الضغطي الاولي ايهما اكبر .

١٩ ـ ٣ تصنيف مصافي الهواء :

يمكن تصنيف مصافي الهواء طبقا الى مردودها بالنسبة الى الغبار الهوائي الى :

T ـ مصافي بمردود قليل : وهي المصافي ذات المردود للغبار الهوائي

بين 80 ÷ 50 % وطبقا الى فحص المردود بطريقة methylene blue .

ب ـ مصافي ذات مردود متوسط : وهي المصافي ذات المردود للغبار الهوائي بين 95 ÷ 80 % .

جـ ـ مصافي ذات مردود عالي : وهي المصافي ذات المردود للغبار الهوائي بين 99 ÷ 95 % .

د ـ مصافي ذات المردود المطلق : وهي المصافي ذات المردود للغبار الهوائي حوالي 99,9 % .

كما يمكن تصنيفها طبقا الى المواد المصنوعة منها الى :

أ ـ مصافي ليفية fibrous media filters ، حيث الغبار العالق بها يؤدي الى زيادة في مقاومتها الضغطية بشكل مستمر وحتى الوصول الى نهايته العظمى وعندها تبدل بمصفاة جديدة او تغسل ويعاد استعمالها من جديد وتصنف الى نوعين ، الاول هي المصافي اللزجة (اللزقة) viscous impingement filters ، والثاني هي المصافي الجافة dry - air filters .

ب ـ مصافي متجددة renewable media filter حيث يبدل وسيط التصفية فيها للحصول على مقاومة ضغطية ثابتة .

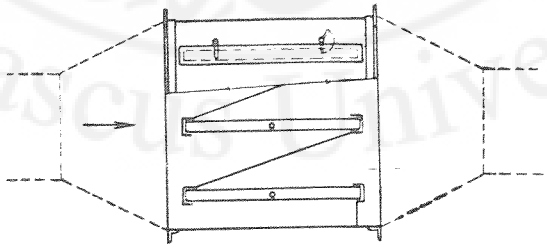
جـ ـ المصافي الهوائية الالكترونية (الكهربائية) : حيث انخفاض الضغط ثابت لا يتغير .

سأتبع اثناء الدراسة التصنيف الاول وذلك لاستعماله .

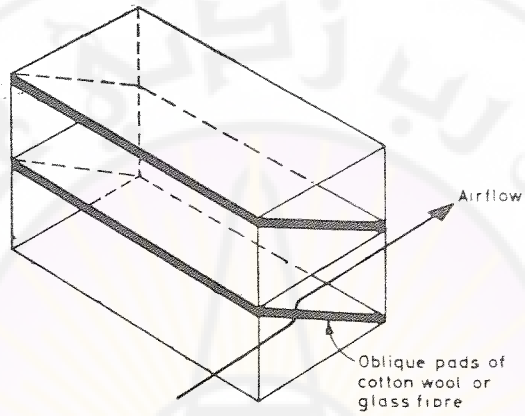
١٩ ـ ٣ ـ ١ المصافي ذات المردود القليل : تتميز هذه المصافي بمردودها القليل وضياعها الضغطي القليل ايضا وتستعمل اما لتصفية بدئية للهواء او حيثما لا توجد اهمية كبيرة على تصفية الهواء . سرعة الهواء هي $3 \div 1$ m/s . يستعمل لها انواع مختلفة من مواد التصفية مثل الخيوط النسيجية المختلفة او من المواد الحديدية مع الزيت .

٢ ـ المصافي النسيجية او المصافي الجافة dry filters :

ان التقدم السريع في تصفية الهواء قد قدم انواع مختلفة من مواد التصفية مثل القطن والصوف والفيبر كلاس والمواد البلاستيكية والاسبستوس المحبوك والبوريتين ومواد اخرى تستعمل للمصافي الجافة . ان هذه المواد تحبك مع بعضها بواسطة مواد بلاستيكية ويسمى الناتج pads . وهناك نوعان منها : النوع الاول cell-type (اى نوع الخلية) والنوع الثاني automatic roll-types (اى نوع الدوار الاوتوماتيكي) . ان زيادة مردود هذه المصافي تكون بزيادة سطح التماس بين التيار الهوائي وسطح المصفاة . ان زيادة هذا السطح بالنسبة الى المصافي cell-type يكون بوضع شريحة المصفاة pads بشكل مائل على التيار الهوائي كما في الشكل

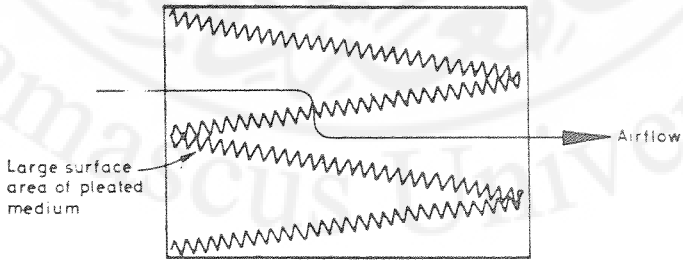


مصافي ذات شرائح متوازية



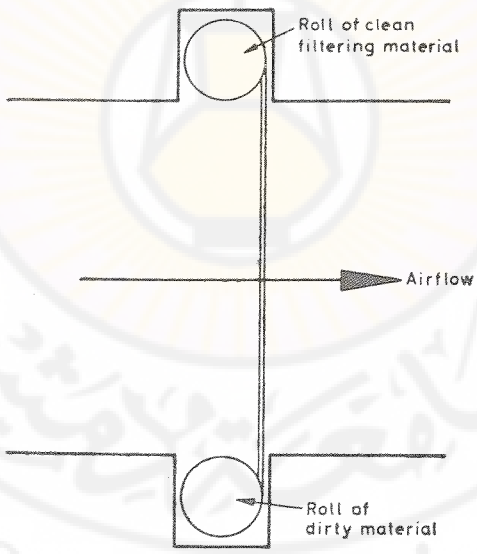
مصـــافي ذات شرائح مائلـــة

ان وضع هذه الشرائح بشكل V يؤدى الى زيادة في مرد ود المصفاة ويستعمل عادة الورق او الاسبستوس لمثل هذه المصافي كما في الشكل



مصـــفاة بشكل V

اما المصافي نوع dry-automatic roll-type فتتألف من اسطوانة علوية يلف عليها المواد المصفية النظيفة واسطوانة يلف عليها المواد المصفية . والشكل التالي يبين عملها . ان ميزات هذا النوع من المصافي هو الصيانة البسيطة حيث يمكن ان تدور الاسطوانة بشكل اوتوماتيكي طبقا الى زيادة الضياع الضغطي او زمنيا . كما ان تغيير المواد المصفية سهل جدا ، علما بأن مردودها قليل 80% تقريبا . لهذا يفضل في بعض الاحيان عنها نموذج S او نموذج V .

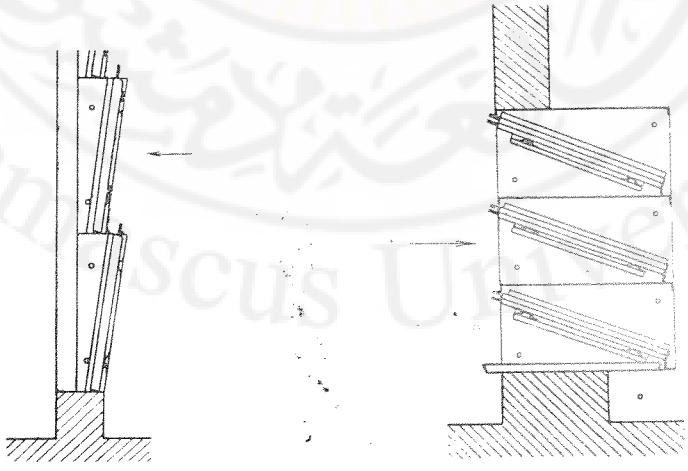


ب ـ المصافي اللزجة viscous filters :

ان لهذه المصافي فاعلية كبيرة بالنسبة الى الغبار dust ولكن فعاليتها قليلة بالنسبة الى الملوثات الاخرى وهي صالحة للاستعمال في الاماكن

الصناعية • ان مبدأ عمل هذه المصافي هو ان تيار الهواء والغبار يمر عبر المواد التنظيفية المغطاة بطبقة من الزيت والتي تساعد على لصق الغبار عليها بينما يستمر جريان الهواء • وان الزيت المستعمل يجب ان يكون بمواصفات خاصة تسمح له بالنفوذ خاصة شعرية لتوزيع الغبار على اجزاء المصفاة ولعدم المكوث في منطقة واحدة • كما يجب ان يمون الزيت غير قابل للاحتراق وغير قابل للتبخر وغيرها • وهناك ايضا نوعان من المصافي اللزجة وهي cell-type و automatic type •

ان المصافي نموذج cell-type تكون مؤلفة من خلايا مصنوعة من الفيبركلاس او شعر الحيوان او فيبر النبات او سينتاتيك فيبر او الصوف المعدني وغيرها موضوعة ضمن اطار خاص يمكن غسلها اما بالزيت او الماء الساخن مع بعض مواد الانحلال او تغييرها بجديدة • هذا وينتج منها انواع مختلفة تختلف عن بعضها بطريقة وضعها بطريق التيار الهوائي •

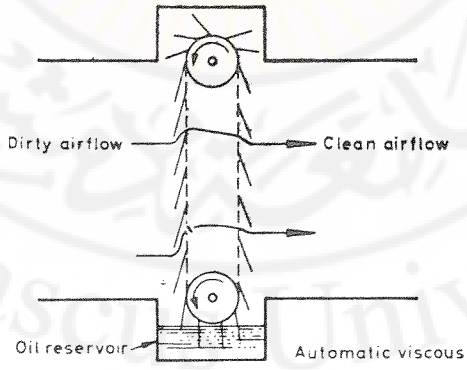


مائل جداري

اما نموذج automatic viscous type فانها تتألف من اسطوانة دوارة علوية واسطوانة دوارة سفلية مع مستودع للزيت بحيث يؤدي دوران الاسطوانة السفلى الى تغميسها بالزيت حيث يبقى في المستودع الزيت المحمل بالغبار ويعلق بها زيت جديد .

ان الضياع الضغطي لهذه المصافي هو بين $40 \div 60\ N/m^2$ وسرعة الهواء الموصى بها هي بين $1,7 \div 2,5\ m/s$. ان هذه المصافي غير صالحة لازالة الذرات التي هي اقل من $0,5\ \mu m$.

ان الشكل التالي يبين احدى هذه المصافي حيث ان السير مجهز بشفرات مائلة تجبر التيار الهوائي على تغيير اتجاهه عدة مرات وبهذا يتخلص من الغبار العالق به .



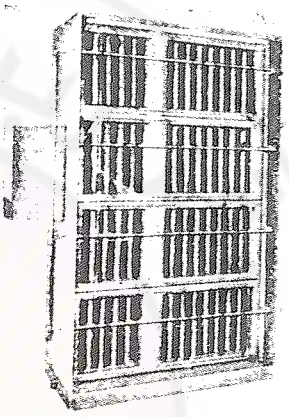
جـ ـ المصافي نموذج المنخل : حيث تتألف من منخل بعدة طبقات . وتستعمل للهواء المعاد في معامل النسيج لتصفية الخيوط النسيجية .

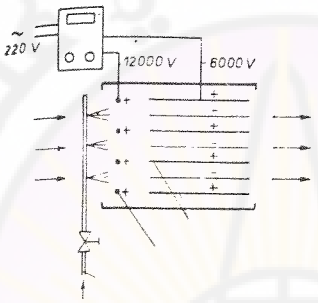
١٩ ـ ٣ ـ ٢ المصافي ذات المردود المتوسط :

وهي المصلفي ذات المردود من 80 ÷ 95 % للغبار الجوى . سرعة جريان الهواء تكون بين 0,1 ÷ 1 m/s . ويستعمل كمواد للتصفية المواد الخيطية المتقدمة الصنع وذات المردود العالي . كما يستعمل ايضا المصافي الكهربائية .

ان مبدأ عمل هذه المصافي هو أنه عند جريان الهواء بين قطبين مختلفين بالشحنة فان الهواء يصبح مؤيّنا ionised اذا كان فرق التوتر بين هذين القطبين كافيا لذلك ، وبالتالي يتأيّن الغبار الموجود في هذا الهواء ، حيث 80 % تقريبا يصبح بشحنة موجبة و 20% بشحنة سالبة . ان فرق الكمون اللازم لهذا هو بين 13000 V ÷ 7800 . ان الاقطاب التي تؤدى الى تأيّن الهواء هي من التانتالوم او الولفورم بأقطار 25 mm ، كما ان الصفائح التي يعلق عليها الغبار تبعد عن بعضها بحوالي 25 mm . ان هذه الاقطاب مشحونة شحنا موجبا ، كما أن الصفائح مشحونة شحنا سالبا موصولة بالارض .

ان الغبار مع الهواء المؤين يمر عبر مجموعة التجميع التي تحوى مجموعة من الصفائح الافقية حيث فرق الكمون بينها بين 7000 V ÷ 6000 . ان محسنات هذه المصافي هو صيانتها القليلة وتغسل بالماء او الزيت حيث ضغط الماء بين 3 bar ÷ 2 . هذا وفي اكثر الاحيان توضع مصفاة قبل او بعد المصفاة الكهربائية .





١٩ ـ ٢ ـ ٣ المصافي ذات المردود العالي :

ان مردود هذه المصافي هي بين 95 ÷ 99 % ويجب ان تكون ذات ضياع ضغطي قليل وقابلة لالتقاط الاجزاء الصغيرة جدا وتستعمل في اكثر الاحيان كمصافي درجة ثانية اى بعد المصفاة الرئيسية .

ان المواد التي تصنع منها هذه المصافي هي مواد خيطية مختلفة او من انواع خاصة من المواد .

ان امكانية صنع خيوط دقيقة جدا أمكن من صنع مصافي فعالة جدا . وفي اكثر الاحيان فان هذه المصافي تتألف من خيوط ناعمة جدا او خيوط سميكة نسبيا . وتصنع هذه الخيوط من الزجاج او الاسبست او السيلولوز او مواد بلاستيكية . وان مشكلة هذه المصافي هي الضياع الضغطي العالي لها . لذلك فانه يستعمل طرق مختلفة لانقاص هذا الضياع .

هذا وان بعض المصانع تقوم بصنع مصافي ورقية موضوعة بشكل هارموني داخل الاطار حيث لا يمكن تنظيفها بل يجب تغييرها .

١٩ ـ ٣ ـ ٤ المصافي ذات المردود المطلق :

ان مردود هذه المصافي هو تقريبا 100 % وتستعمل عندما يكون المطلوب تصفية مطلقة وعند وجود مواد ضارة لجسم الانسان او لأسباب تكنولوجية تتطلب ان يكون الهواء نظيفا تماما ، مثل اماكن صنع الادوية ومواد التلقيح وغرف العمليات وعند صنع انصاف النواقل وغيرها .

ان المواد المصنوعة منها تكون عادة خيوطا زجاجية اقطارها لا تتجاوز الميكرون متر او من مواد سنتاتيكية .

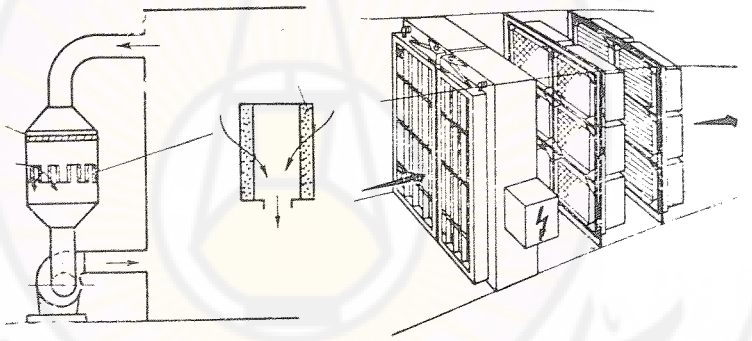
١٩ ـ ٤ مصافي ضد الرائحة Adsorption Filters :

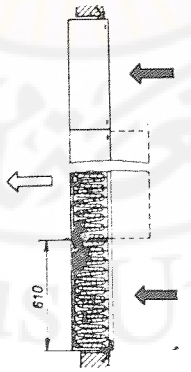
ان اسهل طريقة لاقتناص الرائحة هي خاصية الالتصاق لبعض المواد adsorption والتي هي عملية فيزيائية بحتة ، ويجب علينا ان نميزها عن عملية الامتصاص absorption والتي هي عملية كيميائية .

ان هذه المصافي تستعمل الفحم الفعال حيث ينتج بطريقة تكنولوجية خاصة من الفحم العادي وخاصة من فحم الكوكس اوفحم الخشب بحيث يكون له سطح كبير جدا . ان واحد غرام من الفحم الفعال بحجم 2 cm^3 له سطح حوالي 1200 m^2 . ان امكانية الفحم الفعال في التصاق الروائح به هي تقريبا بين 15 % ÷ 10 كتلته .

عند صناعة هذه المصافي يوضع الفحم الفعال بين سطحين بثقوب كثيرة حيث يمر الهواء خلال الفحم الفعال الذي يؤدي الى التصاق

ابخرة الرائحة بهذا الفحم ويفضل وضع مصفاة للهواء قبل مصافي الرائحة للمحافظة عليها من الغبار • ان مدة استعمال هذه المصافي هي بين 3 ÷ 12 شهرا • وعند استهلاك المصفاة يجب اعادة تجديدها وذلك بتسخين الفحم الفعال الى درجات حرارة بين 600 ÷ 700°C ويمكن استعمالها مرة ثانية • والشكل التالي يبين احدى هذه المصافي البسيطة





٢٠ الطرق والاساليب المستعملة في تكييف الهواء

لقد قيل بأن الحاجة هي أم الاختراع. وهذا القول هو الذى طور وعدد الاساليب المستعملة في التكييف طبقا لنوع البناء وشكله الهندسي وتوجيهه بحيث اصبحت في الوقت الحاضر تلائم وتناسب جميع الابنية والاماكن المطلوب تكييفها ، علما بأن هذه الاساليب لا تزال في تطور مستمر للوصول الى افضل عمل لهذه الاجهزة من الناحية الاقتصادية والفنية وسيستمر تطورها مع تطور الهندسة المعمارية .

ان اختيار الاسلوب الصحيح والمناسب لأجهزة التكييف يعتبر من الامور الاساسية والهامة جدا بالنسبة للمهندس المصمم والتي يمكن ان يدور حولها الجدل .

ان تصنيف الطرق والاساليب المستعملة في التكييف يمكن القيام بها بعدة طرق. وسأشرح الطرق المستعملة في ASHRAE مع بعض التعديلات طبقا لمتطلبات التكييف في بلادنا .

تقسم هذه الطرق والاساليب الى :

ـ ١ الاسلوب الهوائي ALL-AIR

ـ ١ ـ ١ اسلوب المجال الواحد بضغط منخفض Single Zone

ـ ١ ـ ٢ اسلوب متعدد المجالات Multi Zone

ـ ١ ـ ٣ اسلوب المجال الواحد بضغط عال وتدفق ثابت

Single Zone, High Velocity Constant Volume

ـ ١ ـ ٦ اسلوب المجريين وبتدفق متغير
Dual-Duct System, constant Volume

ـ ٢ اسلوب هواء ـ ماء Air-Water

ـ ٢ ـ ١ اسلوب الانبوبين Two-Pipe Changeover

ـ ٢ ـ ٢ اسلوب الانبوبين Two-Pipe Non-Changeover

ـ ٢ ـ ٣ اسلوب ثلاثة انابيب Three-Pipe

ـ ٢ ـ ٤ اسلوب اربعة انابيب Four-Pipe

١ـ ٣ الاسلوب المائي All-Water System

ـ ٣ ـ ١ فان كويل مع تهوية طبيعية وطرد هواء طبيعـــي
Fan Coil Unit with Infiltration and Exhaust

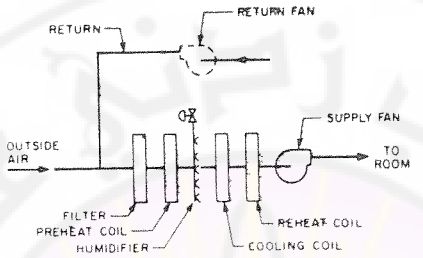
ـ ٣ ـ ٢ فان كويـــل مع فتحـة تهويـــة في الجـدار
Fan Coil Unit with Wall Apertures

ـ ٣ ـ ٣ فان كويـــل مع مجـــرى هـــوائي
Fan Coil Unit with Ventilation Ducts

ـ ٤ اســـلوب الوحـــدات المنفصـــلة

ان الاسلوب الهوائي يعني ان الهواء فقط يزيل الحـــرارة المحسوسة والكامنـة او يغطي الضياع الحرارى للمكان المكيف ٠

٢٠ ـ ١ ـ ١ اسلوب المجال الواحد وبضغط منخفض : ان تصليح الهـواء يتم في غرفة الآلات ومنها يساق الهواء ويوزع بمجرى واحد او عدة مجارى الـى المكان المكيف كما يبينه الشـكل التالـــي



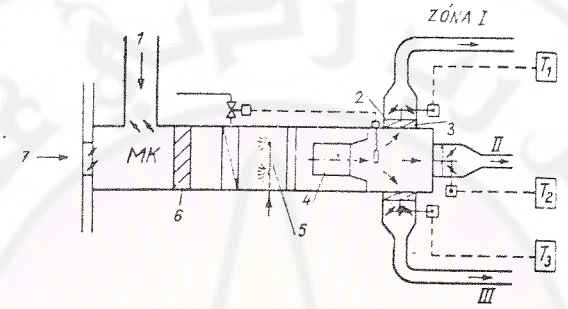
Single-Duct System

ان الصفة المميزة لهذا الاسلوب هو ان مواصفات هواء التغذية الى جميع الامكنة المكيفة واحدة لا تتغير . يستعمل هذا الاسلوب في الامكنة ذات الحمل الحرارى الثابت (تقريبا) مثل المسارح وقاعات المحاضرات وغيرها .

يمكن وضع التيرموستات في مكان واحد فقط للتحكم بدرجة الحرارة والرطوبة . اما الامكنة المكيفة الاخرى فلا يمكن التحكم بمواصفاتها الحرارية. ان هذا الاسلوب يمكن ان يعمل بهواء جديد فقط او بهواء جديد وهواء معاد .

تعتبر هذه الاجهزة من جهة التشغيل والصيانة جيدة ورخيصة.

٢٠ ـ ١ ـ ٢ اسلوب متعدد المجالات: عند اختلاف الحمل الحرارى لكل جهة من جهات البناء او عند طلب هواء بمواصفات حرارية مختلفة لكل قسم من اقسام البناء فانه يمكن استعمال وحدة تكييف لكل قسم من اقسام البناء ، اواستعمال وحدة تكييف بعدة مجالات والشكل التالي يبين ذلك



٢٠ ـ ١ ـ ٣ اسلوب المجال الواحد بضغط عال وتدفق ثابت:

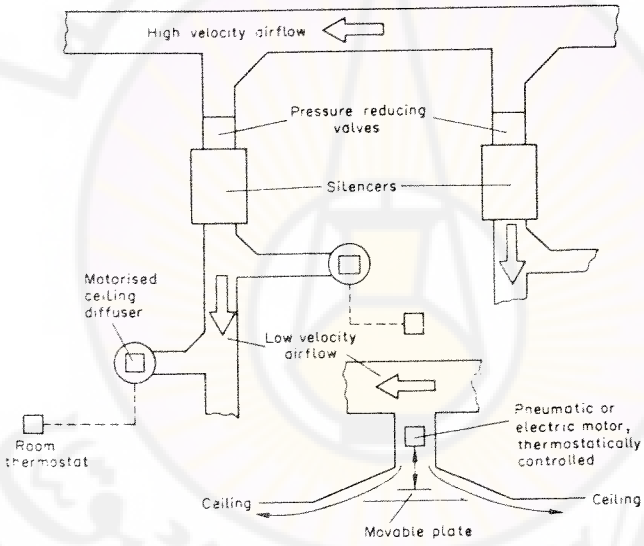
ان الضغط العالى يعني زيادة سرعة الهواء في المجارى بحيث تصل من 12 ÷ 20 m/s ، وذلك لتقليل الحجم اللازم لتوزيع الهواء ،علما بأن تكاليف المروحة ومستوى الضجيج يزداد ، ومع ذلك فان هذه الطريقة يزداد استعمالها خاصة في المجمعات الاستهلاكية وفي الصالات الرياضية وغيرها . يوضع في بعض الاحيان مخفض للصوت لتخفيض مستوى الضجيج وكذلك غرفة تمديد لتأمين تدفق هواء ثابت لا يتعلق بتذبذب الضغط في الشبكة .

٢٠ ـ ١ ـ ٤ اسلوب المجال الواحد بضغط عال وتدفق متغير:

ان هذا الاسلوب VAV تم استعماله في السنوات العشر الاخيرة لاقتصاديته ولتوفيره في استهلاك الطاقة ، حيث يتم التحكم بكمية تدفق الهواء اما في غرفة التمدد او مباشرة في المكان المكيف .

بعض الشركات مثل شركة TROX انتجت غرفة تمدد يتم

التحكم بكمية تدفق الهواء فيها طبقا لدرجـــة الحرارة • وفي اكثر الاحيـــان فان التحكم بكمية تدفق الهواء يتم في فتحات الهواء مباشرة والشكل التالـــي يوضح طريقـــة هذا التحكم



عند التحكم بكمية تدفق هواء التغذية يجب ايضا التحكم بكميـــة تدفق الهواء المعاد للمحافظة على ضغط ثابت داخل المكان المكيف •

٢٠ـ١ـ٥ اسلوب المجريين وتدفق ثابت:

ان هذا الاسلوب يعتمد على وجود مجريين للهواء احدهمـــا للهواء الساخن والآخر للهواء البارد ، ثم يخلط الهواء البارد والهـــــواء الساخن في الغرفة المكيفة بواسطة جهاز خلط خاص كما في الشكل

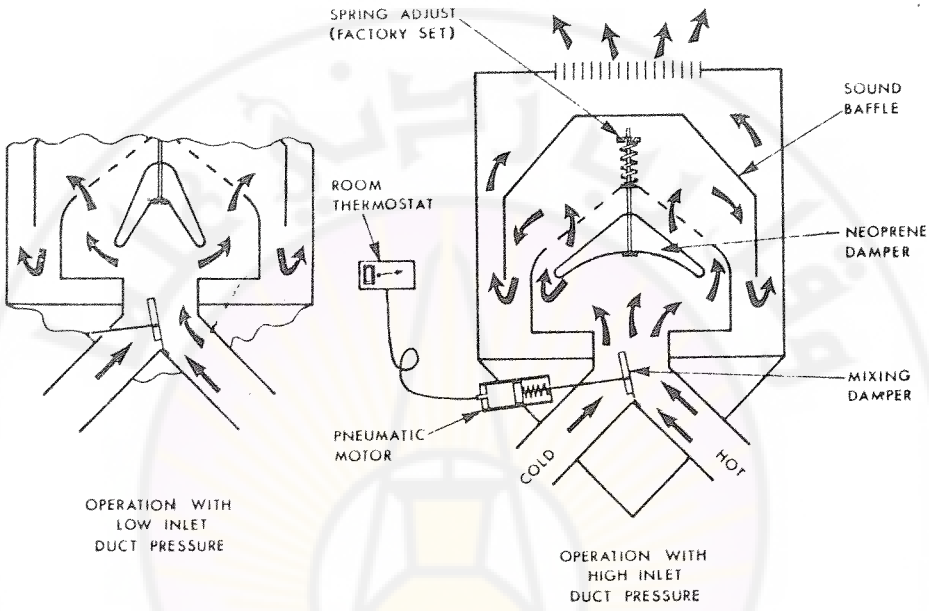


Fig. B3.25. Constant volume dual duct unit.

تتراوح درجة حرارة الهواء في الصيف في المجرى البارد بين 10 - 14 C° ودرجة حرارة الهواء الساخن بين 28 ÷ 30 C° . اما في فصل الشتاء فان درجة حرارة الهواء الساخن تتغير طبقا لدرجة الحرارة الخارجية . يقسم هذا الاسلوب الى طريقتين

أ ـ اسلوب المجريين بمروحة واحدة ووشيعة تبريد ووشيعة تسخين بعد المروحة مباشرة كما في الشكل

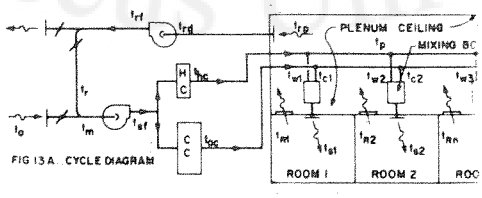
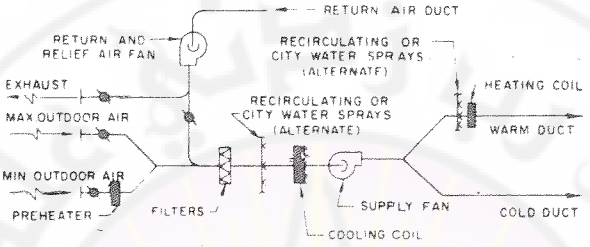
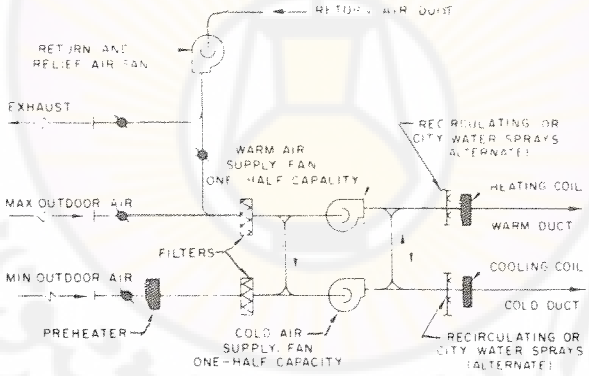


FIG 13 A. CYCLE DIAGRAM



Single-Fan Dual-Duct Hot Deck Reheat Cycle



Two-Fan Dual-Duct Cycle Blow-Through Dehumidifier

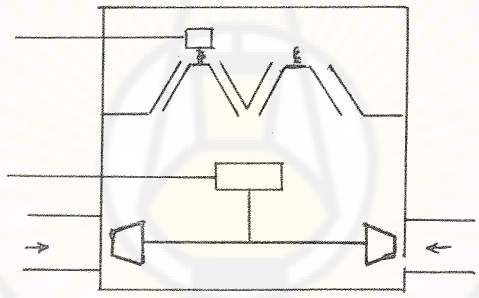
ان هذا الاسلوب يمكن التحكم بالرطوبة وبدرجة الحـــرارة ٠

٢٠ـ١ـ٦ اسلوب المجريين وتدفق متغيـر :

ان هذا الاسلوب من تصميم شركة Carrier ويسمى dual Conduit System وطريقة عمله مشابهة لطريقة عمل الاسلوب بمجريين ، بحيث ان درجة حرارة الهواء في المجريين تكون مختلفة في فصل الشتاء ولكـن متقاربة في فصل الصيف ٠ ان تدفق الهواء في القناة الرئيسية ثابت تقريبـــا

مع تغير في درجة حرارته • بينما في القناة الثانوية يكون تدفق الهـــــواء الثانوى متغير مع ثبات درجة الحرارة تقريبا •

تصمم هذه الطريقة بحيث ان تدفق الهواء الاولي يغطي فقـــط الحمل الحرارى الناتج عن المصادر الخارجية وتدفق الهواء الثانوى يغطـــي الحمل الحرارى من المصادر الداخلية • والشكل التالي يبين طريقة المزج :



٢٠ ــ ٢ ــ ١ اسلوب هواء ــ ماء Air-Water System :

ان تسمية هذا الاسلوب مشتقة من استعمال وسيطين للتبريـــد الى المكان المكيف ، بحيث ان الحمل الحرارى والحمل التبريدى يغطـــى بالهواء الاولي وبالهواء الثانوى الذى يبرد او يسخن حسب الحاجة• ويستعمل لذلك وحدات تحريض Induction Units • وقد استعملـــت لاول مرة في امريكا عام ١٩٣٥ بضغط منخفض ثم تحولت الى الضغط العالي• ان طريقة عمل هذه الاجهزة هي كالتالي :

يتم اصلاح الهواء الاولي في غرفة الآلات (وغالبا ما يكون الهواء الجديد فقط) ، وكمية تدفق هذا الهواء الى الغرف المكيفة يساوى تقريبا كمية الهواء الجديد اللازمة لكل غرفة بحيث لا يقل عن مرتين الى ثلاثة مرات من تبديل هواء الغرفة / الساعة .

ويتم دفع الهواء غالبا بمجارى هواء دائرية بسرعة من 12 ÷ 20 m/s وهذا يستوجب استعمال مروحة بضغط مرتفع يتراوح بين 1500 ÷ 2000 Pa مما يؤدى الى التقليل من حجم مجارى التغذية . اما الهواء الثانوى (هواء الغرفة) فيدفع بواسطة وحدة التحريض ، ويتم طرد الهواء الزائد الى الممرات او من شقوق النوافذ ومنها الى خارج البناء .

ان وشائع التحريض لها اشكال مختلفة ويمكن تقسيمها الى الانواع التالية :

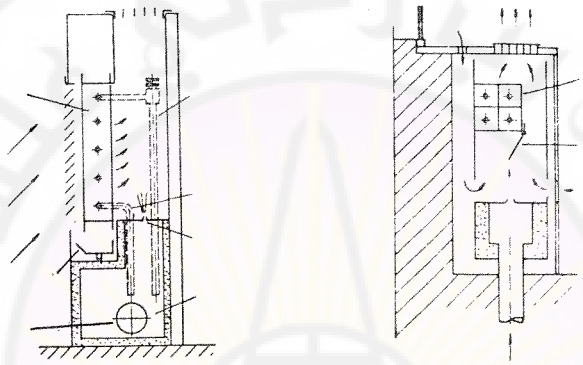
آ — يتم دفع الهواء الثانوى من خلال المبادل الحرارى الذى يمكن ان يستعمل كمبرد او كمسخن للهواء والتحكم يتم بواسطة الصمامات .

ب — يتم دفع الهواء الثانوى من خلال المبادل الحرارى ويتم التحكم بتدفق الهواء بواسطة صمام هوائي damper ويمكن ان تضاف اليه ايضا التحكم بواسطة الصمامات .

جـ — يتم تمرير الهواء الاولي على المبادل الحرارى بحيث يلامسه .

د — يمكن ان تحتوى وشيعة التحريض على مبادلين حراريين احد هما لتبريد الهواء والآخر لتسخين الهواء . ويستعملون خلال السنة بحيث يتم التحكم بهما بواسطة صمامات هوائية .

ان الاشكال التالية تبين بعض هذه الانواع



طبقا الى طريقة وصل انابيب الماء الى وحدة التحريض تقسم هذه الطريقة الى :

٢٠ ـ ٢ ـ ١ اسلوب الانبوبين Two-pipe Changeover :

يدفع الماء البارد في فصل الصيف والماء الساخن في فصل الشتاء الى وشيعة وحدة التحريض ، اما الهواء الاولي فيدفع الى وحدة التحريض في فصل الصيف بدرجة حرارة تابعة لدرجة الحرارة الخارجية بحيث ان الهواء الاولى يغطي الحمل الحرارى من المصادر الخارجية، والاحمال الحرارية الداخلية تغطى بواسطة ماء التبريد الى وشيعة التحريض .

٢٠ ـ ٢ ـ ٢ اسلوب الانبوبين Two-pipe Non-Changeover :

يدفع الهواء الاولي الى وشيعة التبريد بدرجة حرارة متساوية تقريبا خلال فصول السنة، ويدفع الى وشيعة التحريض ماء بارد او ماء ساخن

حسب الحاجـــــة ٠

٢٠ ـ ٢ ـ ٣ اســـلوب ثلاثـــة انابيب :

ان هذا الاسلوب يعتمد على وجود ثلاثة انابيب في الـدارة ، حيث يخصص انبوب للماء البارد ، وانبوب للماء الساخن ، وانبوب مشـــترك للماء الراجع (الساخن والبارد) ٠

٢٠ ـ ٢ ـ ٤ اسلوب اربعة انابيب :

يتم تأمين جريان الماء البارد والماء الساخن بواسطة دارتيـــن منفصلتين ويمكن ان تحتوى وحدة التحريض على مبادل حرارى واحد او مبادلين حراريين كما هو مستعمل في الوقت الحاضـــر ٠

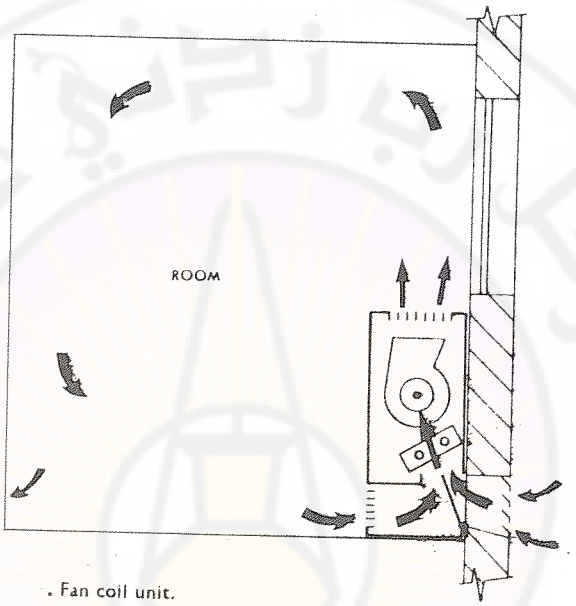
ان هذا الاسلوب هو من احسن الطرق خاصة في طريقة التحكم ولكن تكلفتـــه مرتفعـــة ٠

٢٠ ـ ٣ الاسلوب المائـــي All-Water System :

ان الجزء الاساسي لهذا الاسلوب هو وحدة الـ Fan Coil والتي تتألف من غطاء خارجي يحتوى في داخله على مبادل حرارى ، مروحـــة هوائية ، صمام هوائي لخلط الهواء الجديد والهواء المعاد ، مصفاة للهواء ٠ ويمكن ان تركب للوحدة على الجـدار او في السقف او على الارض

ويقسم هذا الاسلوب الى :

٢٠ ـ ٣ ـ ١ فان كويل مع تهوية طبيعية وطرد هواء طبيعي : حيـــث تستعمل وحدة الفان كويل هواء معادا بنسبة 100% ، ويؤمن الهـــواء الجديد عن طريق التهوية الطبيعية وبوجود مروحة سحب صغيرة تؤمن ضغطا سالبا داخل المكان المكيف ٠



. Fan coil unit.

٢٠ ـ ٣ ـ ٢ فان كويل مع فتحة في الجدار: تركب وحدة الفان كويل قرب الجدار وتوصل مع الهواء الخارجي بواسطة فتحة تحتوى على صمام هوائي لتأمين التهوية حسب الحاجة ٠

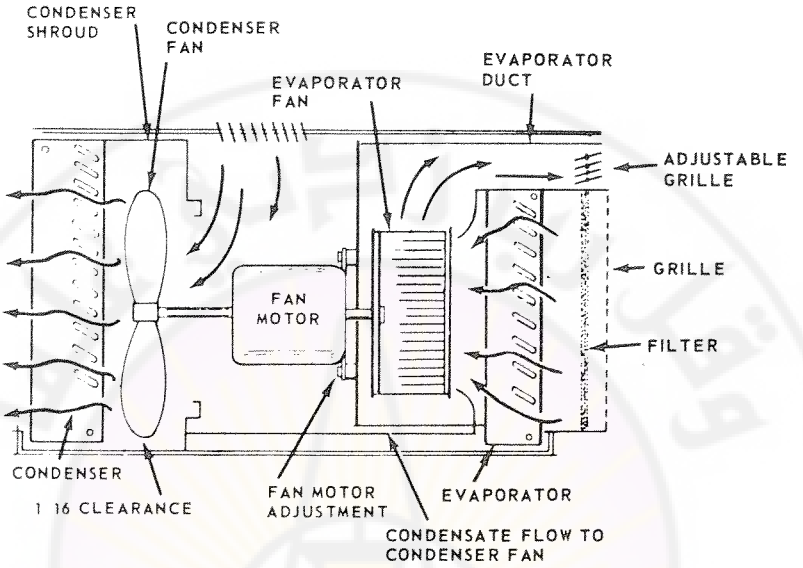
٢٠ ـ ٣ ـ ٣ فان كويل مع فتحة للتهوية: يتم تأمين الهواء الجديد بواسطة وحدة تهوية مركزية ومجارى هواء تصل الى المكان المكيف وترتبط بوحدة الفان كويل او لا ترتبط بها حسب الطريقة المستعملة٠ ويمكن ان يعالج

الهواء الجديد بحيث يزيل الحمل الحرارى الكامن للغرفة ويمكن ان يترك بدون معالجة حرارية ٠

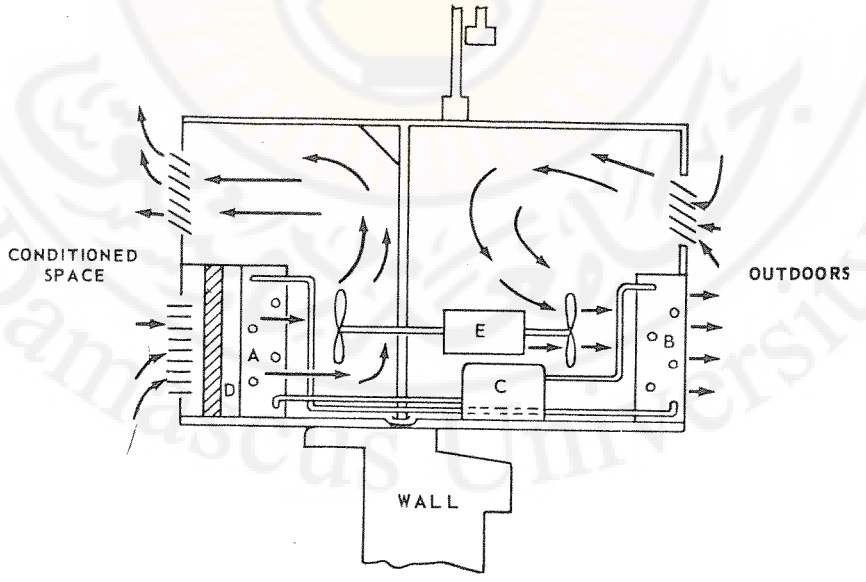
٢٠ ـ ٤ اسلوب الوحدات المنفصلة :

ان اجهزة التكييف المنفصلة تستعمل لتبريد هواء كل غرفة على حدة وتتألف من غطاء يحتوى على مروحة ومحرك ، وشيعة تبريد ، ضاغط ، مكثف وتوابعها ٠ وفي بعض الاحيان على وشيعة تسخين كهربائية وتستعمل هذه الاجهزة بشكل واسع في البلاد الحارة وبشكل منفصل لكل مكان ، ويمكن التحكم بدرجة حرارة الغرفة بايقاف او تشغيل الضاغط ، علما بأنه لا يمكن التحكم بالرطوبة ٠

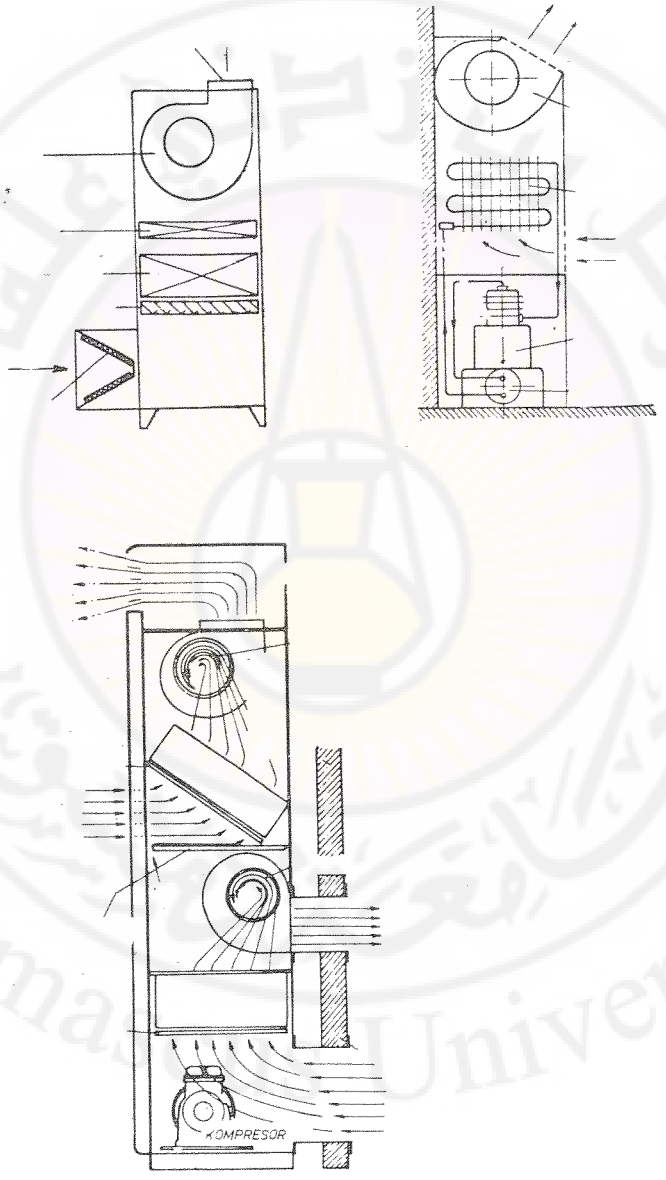
وطبقا الى شكلها وتصميمها يمكن ان تكون وحدات تكييف جدارية او نافذية ذات تبريد مائي او هوائي للمكثف ٠ ويمكن وضع الضاغط والمكثف خارج المكان المكيف والمبخر داخل المكان المكيف ولها انواع واشكال متعددة ومتنوعة وان استعمالها لكامل البناء غير اقتصادى أما استعمالها لاماكن منفردة وصغيرة نسبيا فواسع الانتشار خاصة في البلاد الحارة ٠



Schematic drawing of air circuits in window air conditioner. Axial type fan is used at condenser. Evaporator air circuit uses radial flow fan. Same motor drives both fans. (Hupp, Inc.)



Schematic drawing of a window comfort cooler installation. A—Evaporator coil. B—Condenser. C—Motor compressor. D—Filter. E—Fan motor.


KOMPRESOR

٢١ التحكم والتنظيم لأجهزة التكييف

ان الطرق والاساليب المستعملة للتحكم بأجهزة التكييف والتدفئة متنوعة ومختلفة وتتطور بشكل سريع بحيث لا يمكن شرحها بشكل مفصل او مختصر في هذا الفصل، كما أنه توجد طرق مختلفة للتحكم بأساليب التكييف والتدفئة طبقا الى اهمية التحكم بالشروط الداخلية ويمكن الرجوع الى المراجع الكثيرة والمتعددة في هذا الموضوع لأهميته للعاملين في مجال التدفئة والتكييف .

٢١ ـ ١ تصنيف اجهزة التحكم :

تقسم اجهزة التحكم والتنظيم

أ ـ طبقا الى نوع دارة التحكم المستعملة

١ ـ تنظيم بموضعين Two-Position or On-Off Control

٢ ـ تنظيم بوضع عائم Floating Control

٣ ـ تنظيم تناسبي Proportional Control

ب ـ طبقا الى الرمز المراد التحكم به

١ ـ تحكم بدرجة الحرارة

٢ ـ تحكم بالرطوبة

٣ ـ تحكم بالضغط

جـ ـ طبقا الى القدرة المعطاة للمنظم

١ ـ منظم كهربائي

٢ ــ منظم على الهواء المضغـــوط

٣ ــ منظم كهربـــائي هوائـــي

٤ ــ منظم الكتـــــروني

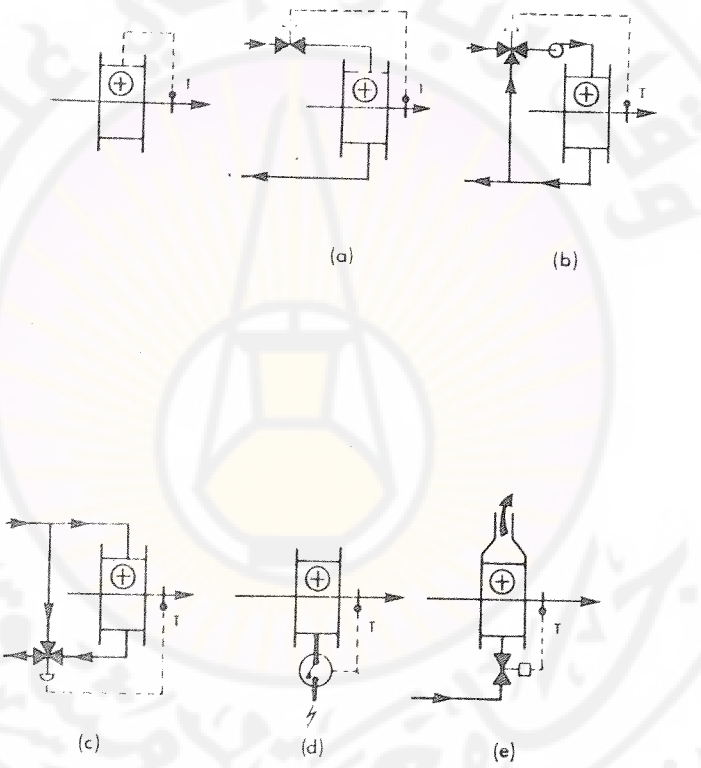
٢١ ــ ٢ التحكـــم بدرجـــة الحـــرارة :

عند ما يكون وسيط التبريد (او وسيط التسخين) هو الماء فان التحكم بدرجة الحرارة يتم بثلاث طـــرق

آ ــ التحكم بمضخة الماء : ان المنظم الذى يوضع في مجرى الهواء المعاد او هواء التغذية او هواء الغرفة يؤثر على محرك مضخة الماء ويؤدى الـى توقفها او تشغيلها وبالتالي الى دوران الماء او توقف دورانه في وشيعـة التبريد ، واستعمال هذه الطريقة قليل .

ب ــ التحكم بواسطة صمام ثنائي او صمام ثلاثي : يوضع عند مدخل تغذية الوشيعة صمام ثنائي او صمام ثلاثي والذى يتأثر من المنظم الموضوع فـــي مجرى الهواء المعاد او مجرى هواء التغذية او هواء الغرفة والشكل (ب) يوضح وضع الصمام الثلاثي عند مدخل الوشيعة بحيث تكون كمية تدفـــق وسيط التبريد ثابتة مع اختلاف في درجة حرارته ، والشكل (جـ) يبيـــن وضع الصمام الثلاثي على خط الرجوع بحيث تكون كمية تدفق وسيط التبريـــد متغيرة مع ثبات درجة حرارته .

جـ ــ التحكم بواسطة الصمامات الهوائية : ان الصمام الهوائي يمكـــن وضعه في مجرى الهواء الراجع او هواء التغذية او الهواء الجديد بحيث يتحكم بكمية تدفق الهواء الراجع او الهواء الملامس للوشيعة او الهـــواء الجديد حسب درجة الحرارة وكما يبينه الشـكل (د)



عند ما تكون طريقة بشكل مباشر DX فانه يمكن التحكم بدرجة الحرارة باحدى الطرق التالية

آ ـ ان المنظم يتحكم بتشغيل او ايقاف المحرك التابع للضاغط وتستعمل هذه الطريقة في الآلات الصغيرة ٠

ب ـ ان المنظم يتحكم بصمام مغناطيسي يوجد في خط التغذية ويؤدي الى زيادة او نقصان كمية وسيط التبريد التي تدخل الى الوشيعة ٠

جـ ـ ان المنظم يؤثر على محرك كهربائي يغير من وضع الصمامات الهوائية

٢١ ـ ٣ التحكم برطوبة الهـــواء :

يمكن التحكم برطوبة الهواء بعدة طرق منهـا

١ ـ التحكم بوشيعة التسخين المسبق

٢ ـ التحكم بالمرطبـــــة

٣ ـ التحكم بنســـبة المزج بيـــن الهـــواء المعـــاد والهـــواء الجديد ٠

لقد تناولت في هذا الكتاب دراسة المبادىء الاساسية لهندسة التدفئة وتكييف الهواء .

وقد توسعت في شرح المبادىء النظرية لهندسة تكييف الهواء لأن المكتبة العربية لا تحتوى على مراجع نظرية في هذا المجال .

لقد شرحت بالتفصيل المواضيع التالية : الراحة الحرارية والاشعاع الشمسي وحساب الربح الحرارى للبناء ومواصفات الهواء الرطب والمخططات السايكومترية وحساب كمية تدفق الهواء اللازمة للتهوية والتكييف والتجهيزات الاساسية التي تشكل وحدة التكييف، والطرق والاساليب المستعملة في التكييف .

ان هذا الكتاب لا يغني عن المراجع الاجنبية التي تحتوى على الجداول الضرورية للتصميم ، كما ان كاتالوجات الشركات الصانعة تعطي فكرة جيدة عن مواصفات الانتاج العالمي وتطوره في هذا المجال .

سيصدر خلال السنتين القادمتين كتاب يتابع هذا البحث ويتناول الاسس النظرية والعملية الى عدة مواضيع في مجال هندسة تكييف الهواء منها

- الضجيج وكيفية تخفيضه
- آلات التبريد المستعملة للتكييف، ومواصفاتها
- التحكم والمراقبة بأجهزة التكييف والتبريد
- الصيانة والتشغيل لأجهزة التبريد والتكييف .

دمشق في ١٠ رمضان ١٤٠٢ هـ
١ تموز ١٩٨٢ م

الدكتور المهندس
مروان شرباتي

المراجـــــــــع

1. ASHRAE, 1972 - 1977 - 1980 .
2. Carrier - Handbook of Air-Conditioning System Design, 1965 .
3. W. P. Jones, Air-Conditioning Engineering, 1977.
4. Roger W. Haines, Control System for Heating, Ventilating and Air-Conditioning, 1977 .
5. Modern Refrigeration and Air-Conditioning, 1975.
6. IHVE, A-B-C 1975 - 1976 - 1977 .
7. RECKNAGEL - SPRENER, Taschenbuch fur Heisung, Luftung und Klimatechnik, 1962 .
8. Jaromir Cihelka, Vytapeni a vetrani 1975 .
9. Jaroslar Chysky, Vlhby vzduch 1977 .
10. Jaroslar Chysky, Vetrani A klimatizace 1971.
11. Marwan Sharabati, Chladici zarizeni pro klimatizace vzduchu 1973 .
12. Karel Hemzal, Vybrane state z vetrani 1975 .
13. Jaroslar Chysky, Klimatizace 1981 .
14. Jaroslar Smolik, Technika prostredi 1970 .
15. J. Cermak, Ventilatory 1974 .
16. Karel Hemzal, Regulace Klimatizacnich a vytapecich zarizeni - 1975 .