

هندسة التبريد وتكييف الهواء

الدكتور مصطفى محمد السيد

أستاذ الهندسة الحرارية

الدكتور محمد علي وريش

أستاذ الهندسة الحرارية

الدكتور قزوي أحمد فتحي

أستاذ الهندسة الحرارية

كلية الهندسة - جامعة الملك عبد العزيز

مركز النشر العالمي

جامعة الملك عبد العزيز

ص ب ١٥٤٠ - جدة ٢١٤٤١

الهيئة العامة للشؤون

© جامعة الملك عبد العزيز ١٤١٥هـ - (١٩٩٤م)

جميع حقوق الطبع محفوظة . غير مسموح بطبع أى جزء من أجزاء هذا الكتاب ، أو تخزينه في أى نظام لحزن المعلومات واسترجاعها ، أو نقله على أية هيئة أو بأية وسيلة . سواء كانت إلكترونية ، أو شرائط ممغنطة ، أم ميكانيكية ، أو استنساخاً ، أم نسخياً ، أم غيرها إلا بإذن كتابي من صاحب حق الطبع .
الطبعة الأولى : ١٤١٥هـ - (١٩٩٤م)

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية

السيد ، مصطفى محمد

هندسة التبريد وتكييف الهواء/مصطفى محمد السيد ،
قصري أحمد فتحي ، محمد علي درويش .

... ص ، سم

ردمك ٥ - ١٩ - ٠٦ - ٩٩٦٠

١ - تكييف الهواء ٢ - هندسة التبريد

أ - فتحي ، قصري أحمد (م . مشارك) ب - درويش ،

محمد علي (م . مشارك) ج - العنوان

١٥/٠١٥٧

ديوي ٦٩٧:٩

رقم الإبداع : ١٥/٠١٥٧

ردمك : ٥ - ١٩ - ٠٦ - ٩٩٦٠

تقديم

يعالج هذا الكتاب موضوع هندسة التبريد وتكييف الهواء الذى هو من مستلزمات حياتنا المعاصرة . فتطبيقات التبريد تنتشر فى كافة الأنشطة بدءاً من صناعة الثلجات المنزلية إلى العمليات الصناعية لحفظ الأطعمة والعمليات الصناعية لإسالة الغازات وصناعة الدواء وغيرها ، كذلك نجد انتشارا واسعا لاستخدام تكييف الهواء فى شتى المرافق مثل المنازل والمكاتب ، وقاعات الاحتفالات والمدارس والجامعات والمستشفيات وغيرها .

ولقد تغيرت صناعة وتقنية التبريد وتكييف الهواء تغيرا سريعا خلال السنوات العشرين الماضية وزاد استخدامها بمعدل سريع ، وفى الوطن العربى شهدت السنوات العشرين الأخيرة توسعا كبيرا فى استخدام التبريد وتكييف الهواء وصار من الضرورى وجود قاعدة عريضة من مهندسى التبريد وتكييف الهواء تعمل فى مجال التصميم أو التركيب أو الصيانة ، وأن تكون هذه القاعدة على مستوى ممتاز من العلم والدراية بهندسة التبريد وتكييف الهواء مما يؤهلها للقيام بأداء عملها كما يرام .

ولقد أعد الكتاب الحالى ليكون مرجعا للمهندسين العرب المهتمين بهندسة التبريد وتكييف الهواء ، بالإضافة إلى كونه كتابا دراسيا لمادة التبريد وتكييف الهواء لطلاب قسم الهندسة الحرارية (هندسة ميكانيكية) مواد مستوى البكالوريوس أو الدراسات العليا . ولغة الكتاب هى اللغة العربية حتى يكون إسهاما فى تكوين مكتبة المراجع الهندسية العربية وجهدا من جهود النهضة العلمية الشاملة للأمة الإسلامية .

ولقد راعى المؤلفون أن تعطى الرموز المستخدمة فى جميع المعادلات الواردة بالكتاب باللغة الإنجليزية حيث أن هذه الرموز لها نفس المدلول عالميا وبذلك نضمن وجود الصلة بين المادة العلمية للكتاب ، وبين المادة العلمية الموجودة فى المراجع الأجنبية مما يسهل عملية الاستيعاب على القارئ . ويحوى الكتاب أحد عشر فصلا ، بالإضافة إلى ثلاثة ملاحق ويخص هندسة التبريد منها أربعة فصول (وهى الفصل الثانى والرابع والثامن والتاسع) . ويحوى الفصل الثانى (أساسيات التبريد بانضغاط الغاز ميكانيكيا) وهذه هى الطريقة الشائعة فى تطبيقات التبريد . ويعالج الفصل الخامس طرق التبريد غير التقليدية مثل (التبريد بالامتصاص والتبريد الكهروحرارى) وهذه الطرق تستخدم

الفصل الثاني : التبريد بانضغاط الغاز ميكانيكيا

٣٧	.....	٢,١	مقدمة
٣٧	.....	٢,١,١	التبريد بانضغاط الغاز
٣٩	.....	٢,١,٢	التبريد بامتصاص الغاز
٤٠	.....	٢,١,٣	التبريد بتمدد الهواء
٤٢	.....	٢,٢	الدورة المثالية للتبريد بانضغاط الغاز ميكانيكيا
٤٢	.....	٢,٢,١	عملية التمدد خلال صمام الانتشار
٤٤	.....	٢,٢,٢	عملية التبخير في المبخر
٤٥	.....	٢,٢,٣	عملية ضغط الغاز
٤٦	.....	٢,٢,٤	عملية التكثيف
٤٧	.....	٢,٢,٥	معامل أداء الدورة المثالية
٥١	.....	٢,٣	مقارنة دورة كارنوت بالدورة المثالية
٥٦	.....	٢,٤	تأثير درجات حرارة المكثف والمبخر على أداء الدورة المثالية
٦٠	.....	٢,٥	الانحراف عن الدورة المثالية
٦١	.....	٢,٥,١	تحميم البخار قبل الدخول إلى الضاغط
٦٦	.....	٢,٥,٢	تبريد السائل لأقل من درجة التثبيغ عند خروجه من المكثف
	.....	٢,٥,٣	استخدام مبادل حرارى لتحميم الغاز قبل الضاغط وتبريد السائل
٦٦	.....		بعد المكثف
٦٩	.....	٢,٥,٤	الفقد في الضغط والشغل الزائد
٧٣	.....	٢,٦	الضواغط الترددية
٧٣	.....	٢,٦,١	عملية الانضغاط في الضواغط الترددية
٧٥	.....	٢,٦,٢	الكفاية الحجمية
٧٧	.....	٢,٦,٣	حساب الشغل بدلالة الضغط والحجم النوعى
٨٣	.....	٢,٧	موائع التبريد الأولية
٨٤	.....	٢,٧,١	الصفات المطلوبة في موائع التبريد الأولية
٨٦	.....	٢,٧,٢	تقسيم موائع التبريد
٩٠	.....	٢,٨	دورة التبريد باستخدام مبخر منخفض درجة الحرارة
٩١	.....	٢,٨,١	الانضغاط متعدد المراحل

٩٦	..... المبرد البينى : ٢,٨,٢
١٠٠	..... المبرد الومضى البينى المغلق ومبرد المياه البينى : ٢,٨,٣
١٠٥	..... الضغط المتوسط للدورة ذات المرحلتين : ٢,٨,٤
١٠٦	..... دورة التبريد متعددة المبخرات : ٢,٩
١٠٩	..... مفتاح الرموز
١١١	..... المراجع
الفصل الثالث : الراحة الحرارية	
١١٥	..... مقدمة : ٣,١
١١٥	..... الاتزان الحرارى : ٣,٢
١١٦	..... الحرارة المتولدة داخليا : ٣,٣
١١٨	..... الحرارة المفقودة بالبخار من الجلد : ٣,٤
١١٨	..... الحرارة المفقودة من الجلد بالانتشار : ٣,٤,١
١٢٠	..... الحرارة المفقودة بالعرق من الجلد : ٣,٤,٢
١٢١	..... الحرارة المفقودة بالتنفس : ٣,٥
١٢٥	..... الحرارة المفقودة بالحمل والإشعاع : ٣,٦
١٢٨	..... الحرارة المفقودة عبر الملابس : ٣,٧
١٣١	..... كفاية الملابس فى إنفاذ بخار الماء : ٣,٨
١٣٦	..... معادلة الاتزان الحرارى : ٣,٩
١٣٨	..... المؤشرات الحرارية المباشرة : ٣,١٠
١٣٩	..... درجة حرارة الهواء : ٣,١٠,١
١٣٩	..... درجة حرارة نقطة الندى ودرجة حرارة البصيلة المبتلة : ٣,١٠,٢
١٣٩	..... سرعة الهواء : ٣,١٠,٣
١٤٠	..... المؤشرات الحرارية المستنتجة : ٣,١١
١٤٠	..... درجة الحرارة الإشعاعية المتوسطة : ٣,١١,١
١٤٠	..... درجة حرارة التشغيل : ٣,١١,٢
١٤٠	..... درجة حرارة التشغيل الرطبة : ٣,١١,٣
١٤١	..... مؤشر جهد الحرارة : ٣,١١,٤
١٤٢	..... درجة الحرارة المؤثرة : ٣,١١,٥

٣٨١	وصف النظام	٦,٣,١
٣٨٢	نظام الهواء والماء باستخدام وحدات سحب الهواء	٦,٣,٢
٣٨٥	نظام الهواء والماء باستخدام وحدات ملف مروحية	٦,٣,٣
٣٨٥	نظام الهواء والماء باستخدام الألواح المشعة	٦,٣,٤
٣٨٦	نظم توزيع المياه الثانوية	٦,٣,٥
٣٨٦	نظام الماء الشامل	٦,٤
٣٩١	نظام التكييف المباشر	٦,٥
٣٩٤	مفتاح الرموز	
٣٩٤	المراجع	
الفصل السابع : التحكم في تكييف الهواء		
٣٩٧	مقدمة	٧,١
٣٩٨	مكونات نظام التحكم في تكييف الهواء	٧,٢
٣٩٩	أنواع نظم التحكم	٧,٣
٤٠٠	شروط تصميم نظم التحكم في تكييف الهواء	٧,٤
٤٠٠	مصطلحات التحكم في تكييف الهواء	٧,٥
٤٠٤	التحكم في درجة الحرارة	٧,٦
٤٠٨	التحكم في الرطوبة	٧,٧
٤١١	التحكم في سريان السوائل	٧,٨
٤١٢	التحكم في سريان الهواء	٧,٩
٤١٤	التحكم في الضغط	٧,١٠
٤٢٢	التحكم في الإنثاليبي	٧,١١
٤٢٢	حاس نوعية الهواء	٧,١٢
٤٢٤	حاس إشغال الغرفة	٧,١٣
٤٢٧	الأجهزة الموجهة والمُرَحَلات	٧,١٤
٤٢٧	التنطيق	٧,١٥
٤٣٠	أمثلة للتحكم في بعض نظم تكييف الهواء	٧,١٦
٤٣٠	نظام تبريد الهواء بالتمدد المباشر	٧,١٦,١
٤٣٢	نظام ماء شامل متعدد المناطق للتدفئة	٧,١٦,٢
٤٣٢	نظام ماء شامل ثنائي الأنابيب لتكييف الهواء على مدار العام	٧,١٦,٣

٤٣٥	نظام ماء شامل رباعى الأنايب لتكييف الهواء على مدار العام	٧,١٦,٤
٤٣٥	نظام هواء شامل أحادى المنطقة لتكييف الهواء على مدار العام	٧,١٦,٥
	نظام هواء شامل ثنائى المر متعدد المناطق لتكييف الهواء على	٧,١٦,٦
٤٣٨	مدار العام	
	نظام هواء شامل متغير حجم الهواء ووحيد المر لتكييف	٧,١٦,٧
٤٣٨	الهواء على مدار العام	
٤٤٠	مفتاح الرموز	
٤٤١	المراجع	
الفصل الثامن : أجهزة التحكم في نظم التبريد		
٤٤٥	مقدمة	٨,١
٤٤٥	محابس التمدد	٨,٢
٤٤٥	محبس التمدد الأتوماتى	٨,٢,١
٤٤٨	محبس التمدد الثرموستاتى	٨,٢,٢
٤٥٨	محبس التمدد الثرموستاتى المعادل خارجيا	٨,٢,٣
٤٦٠	محبس التمدد الثرموستاتى المحدد الضغط	٨,٢,٤
٤٦١	محبس التمدد الكهريائى الحرارى	٨,٢,٥
٤٦٢	الأنبوب الشعرى	٨,٢,٦
٤٧٢	محبس التمدد للمبخر المغمور	٨,٢,٧
٤٧٤	منظم ضغط المبخر	٨,٣
٤٧٧	منظم ضغط السحب للضاغط	٨,٤
٤٧٩	منظم ضغط المكثف	٨,٥
٤٧٩	منظم معدل سريان ماء التبريد للمكثف	٨,٦
٤٨٠	التحكم في سعة التبريد	٨,٧
	التحكم في سعة التبريد باستخدام محبس لخفض الغاز بخط	٨,٧,١
٤٨٢	السحب	
	التحكم في سعة التبريد بإرجاع الغاز الساخن إلى مدخل	٨,٧,٢
٤٨٢	المبخر	
	التحكم في سعة التبريد بإسترجاع الطاقة باستخدام مكثف	٨,٧,٣
٤٨٤	داخلي	

٤٨٥	.....	٨,٨	: الأجزاء الأخرى المنظمة لنظام التبريد
٤٨٥	.....	٨,٨,١	: موزع مائع التبريد
٤٨٧	.....	٨,٨,٢	: صمام ذو ملف لولبي
٤٩١	.....	٨,٨,٣	: زجاجة بيان
٤٩١	.....	٨,٨,٤	: فاصل الزيت
٤٩٢	.....	٨,٨,٥	: المبادل الحرارى
٤٩٢	.....	٨,٨,٦	: مرشح مجفف
٤٩٤	.....	٨,٨,٧	: وصلة شحن مائع التبريد
٤٩٤	.....	٨,٨,٨	: مستقبل سائل التبريد
٤٩٤	.....	٨,٨,٩	: مجمع سائل التبريد
٤٩٤	.....		مفتاح الرموز
٤٩٥	.....		المراجع
الفصل التاسع : الأجهزة الرئيسة فى وحدات التبريد			
٤٩٩	.....	٩,١	: مقدمة
٤٩٩	.....	٩,٢	: المكثفات
٥٠٠	.....	٩,٢,١	: المكثفات المبردة بالهواء
٥٠٠	.....	٩,٢,٢	: المعامل الكلى لانتقال الحرارة للمبادلات ذات الأسطح المستوية
٥٠٣	.....	٩,٢,٣	: انتقال الحرارة فى الأسطح الممتدة
٥٠٨	.....	٩,٢,٤	: المتوسط اللوغاريتمى لفرق درجات الحرارة
٥١١	.....	٩,٢,٥	: انتقال الحرارة وفقد الضغط فى المكثفات المبردة بالهواء
٥١٢	.....	٩,٢,٦	: تصميم المكثفات المبردة بوساطة الهواء
٥١٩	.....	٩,٢,٧	: المكثفات المبردة بالماء
٥٢٤	.....	٩,٣	: أبراج التبريد
٥٢٤	.....	٩,٣,١	: دراسة مقارنة بين انتقال الحرارة والكتلة
٥٢٦	.....	٩,٣,٢	: المعادلات الأساسية المستخدمة فى تصميم أبراج التبريد
٥٢٩	.....	٩,٣,٣	: المعادلات التقريبية المستخدمة فى تصميم أبراج التبريد
٥٣١	.....	٩,٣,٤	: خطوات تصميم أبراج التبريد
٥٣٤	.....	٩,٤	: المبخرات
٥٣٦	.....	٩,٤,١	: تصنيف المبخرات طبقا لنوع سطح الانتقال الحرارى

٥٣٧	..... تصنيف المبخرات طبقا لطريقة إمداد سائل التبريد	٩,٤,٢
٥٤٢	..... تصنيف المبخرات تبعا لطريقة التبريد	٩,٤,٣
٥٤٢	..... تصميم المبخرات	٩,٥
٥٤٢	..... تحليل الأسطح الممتدة الجافة	٩,٥,١
٥٤٧	..... الأسطح المبتلة	٩,٥,٢
٥٥٠	..... كفاية الزعانف المبتلة	٩,٥,٣
٥٥١	..... مقارنة بين الزعانف الجافة والمبتلة	٩,٥,٤
٥٥٢	..... دراسة الأسطح الممتدة المبتلة	٩,٥,٥
٥٥٥	..... الفرق المتوسط للإنتالبي	٩,٥,٦
	..... تصحيح قيمة معامل انتقال الحرارة بالحمل نتيجة وجود الماء المتكثف	٩,٥,٧
٥٥٧	..... خطوات تصميم المبخرات المبتلة	٩,٥,٨
٥٦٣	..... الضاغطات	٩,٦
٥٦٣	..... الضاغطات الترددية	٩,٦,١
٥٦٥	..... الضاغطات الدورانية	٩,٦,٢
٥٦٩	..... الضاغطات الطاردة المركزية	٩,٦,٣
٥٧٤	..... مفتاح الرموز	
٥٧٧	..... المراجع	
	الفصل العاشر : نظم توزيع الهواء	
٥٨١	..... مقدمة	١٠,١
٥٨٢	..... تصميم مخارج الهواء الوارد إلى الغرف	١٠,٢
٥٨٣	..... مواقع مخارج الهواء الوارد	١٠,٢,١
٥٨٥	..... أنواع مخارج الهواء الوارد	١٠,٢,٢
٥٨٥	..... تعريفات	١٠,٢,٣
٥٨٧	..... طريقة التصميم	١٠,٢,٤
٥٩٢	..... الفقد في الضغط في ممرات الهواء	١٠,٣
٥٩٢	..... الفقد الرئيسي في الضغط في ممرات الهواء	١٠,٣,١
٦٠٣	..... الفقد الثانوى في الضغط في ممرات الهواء	١٠,٣,٢

٦١١	.....	١٠,٤	: تصميم ممرات الهواء
٦١٣	.....	١٠,٤,١	: طريقة تساوى الاحتكاك
٦١٥	.....	١٠,٤,٢	: طريقة فرض السرعة
٦١٨	.....	١٠,٤,٣	: طريقة الاسترجاع الإستاتي
٦٢١	.....	١٠,٥	: بعض الاعتبارات الهندسية لتصميم وتركيب ممرات الهواء
٦٢٢	.....	١٠,٦	: المراوح
٦٢٥	.....	١٠,٦,١	: أداء مراوح الطرد المركزية
٦٢٨	.....	١٠,٦,٢	: بعض الاعتبارات الخاصة باختيار المراوح وتشغيلها
٦٢٨	.....	١٠,٦,٣	: ارتباط أداء المروحة بأداء نظام توزيع الهواء
٦٣٠	.....	١٠,٧	: نظام سحب الهواء العائد
٦٣٢	.....		مفتاح الرموز
٦٣٣	.....		المراجع

الفصل الحادى عشر : العمليات المستخدمة فى تكييف الهواء

وتمثيلها على خريطة الهواء الرطب

٦٣٧	.....	١١,١	: مقدمة
٦٣٨	.....	١١,٢	: الخط السيكرومتري لإمداد الغرفة
٦٤٤	.....	١١,٣	: التسخين المحسوس نتيجة استخدام المروحة
٦٤٤	.....	١١,٤	: التسخين المحسوس نتيجة انتقال الحرارة إلى ممرات التكييف
٦٤٥	.....	١١,٥	: العمليات الأساسية لتكييف الهواء
٦٤٥	.....	١١,٥,١	: تكييف الهواء فى فصل الصيف
٦٤٧	.....	١١,٥,٢	: تكييف الهواء فى فصل الشتاء
٦٥٠	.....	١١,٦	: الدورات السيكرومترية لنظم التحكم المختلفة
٦٥٢	.....	١١,٦,١	: استعمال ممر تجيبي
٦٥٥	.....	١١,٦,٢	: استخدام ملف إعادة تسخين
٦٦١	.....	١١,٦,٣	: استخدام الحانقات الوجيهة والتجنيبية
٦٦٥	.....	١١,٦,٤	: استعمال الممرات المزدوجة
٦٧٠	.....	١١,٦,٥	: دورة نقطة الندى
٦٧٣	.....	١١,٦,٦	: نظام سحب الهواء

المحتويات

(ف)

٦٧٧	..... ١١,٦,٧ : نظام وحدات الملف المروحية
٦٧٢	..... مفتاح الرموز
٦٧٨	..... المراجع
٦٧١	..... الملحق
٦٨١	..... ملحق (أ) : خواص الهواء والماء
٦٨٥	..... ملحق (ب) : خواص موائع التبريد
٧٤١	..... ملحق (ج) : خريطة الراحة الحرارية بدلالة درجة الحرارة المؤثرة القياسية
٨٠٣	..... ملحق (د) : ثبت المصطلحات
٨٠٥	..... عربي / إنجليزي
٨١٨	..... إنجليزي / عربي