



ملحق آلات التهريد



السنة الخامسة

قسم هندسة القوى الميكانيكية



منشورات جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

ملحق آلات التبريد

الدكتور المهندس

سميل مرشة

أستاذ مساعد في قسم القوى الميكانيكية

الدكتور المهندس

نديم مخير

أستاذ في قسم القوى الميكانيكية

1437-1438 هـ

2016-2017 م

جامعة دمشق

الفهرس

9.....	مقدمة.....
13.....	الجدول 1: النظام الدولي للوحدات SI.....
15.....	الجدول 2: العلاقة بين جملة الوحدات الدولية وجملة الوحدات البريطانية.....
17.....	الجدول 3: وحدات قياس الضغط مع ثوابت التحويل.....
18.....	الجدول 4: معامل التوصيل الحراري لبعض المعادن عند درجات حرارة مختلفة مقدر بالـ W/mK.....
19.....	لمحة موجزة عن وسائط التبريد.....
27.....	الجدول 5: رموز وصيغ لبعض وسائط التبريد المختلفة مع البارامترات الحرجة.....
29.....	جداول الخواص الترموديناميكية لوسائط التبريد الأكثر انتشاراً.....
31.....	الجدول 6: الخواص الترموديناميكية للأمونيا R717 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة.....
33.....	الجدول 7: الخواص الترموديناميكية للبرون R11 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة.....
36.....	الجدول 8: الخواص الترموديناميكية للبرون R12 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة.....
38.....	الجدول 9: الخواص الترموديناميكية للبرون R13 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة.....
40.....	الجدول 10: الخواص الترموديناميكية للبرون R22 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة.....
42.....	الجدول 11: الخواص الترموديناميكية للبرون R113 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة.....
44.....	الجدول 12: الخواص الترموديناميكية للبرون R142b على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة.....
46.....	الجدول 13: الخواص الترموديناميكية للبرون R502 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة.....
48.....	الجدول 14: الخواص الترموديناميكية للإيثان R170 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة.....
50.....	الجدول 15: الخواص الترموديناميكية للبرون R134a على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة.....
52.....	الجدول 16: الخواص الترموديناميكية للبرون R410A على خطي التكاثف والغليان حسب الضغط.....
54.....	الجدول 17: الخواص الترموديناميكية للبرون R404A على خطي التكاثف والغليان حسب الضغط.....
56.....	الجدول 18: الخواص الترموديناميكية للبرون R123 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة.....
58.....	الجدول 19: الخواص الترموديناميكية للبرون R32 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة.....
60.....	الجدول 20: الخواص الترموديناميكية للبرون R407C على خطي التكاثف والغليان حسب الضغط.....
62.....	الجدول 21: الخواص الترموديناميكية للماء R718 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة.....

الجدول 22: الخواص الترموديناميكية للماء R718 على خطي التكاثف والغليان حسب الضغط.....	64
جداول الخواص الفيزيولوجية لبعض وسائط التبريد بالوحدات الدولية.....	67
الجدول 23: الخواص الفيزيولوجية للفرين R12 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة.....	69
الجدول 24: الخواص الفيزيولوجية للفرين R22 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة.....	71
الجدول 25: الخواص الفيزيولوجية للفرين R23 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة.....	73
الجدول 26: الخواص الفيزيولوجية للفرين R134a على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة.....	75
الجدول 27: الخواص الفيزيولوجية للفرين R404A على خطي التكاثف والغليان حسب الضغط.....	77
الجدول 28: الخواص الفيزيولوجية للفرين R410A على خطي التكاثف والغليان حسب الضغط.....	79
الجدول 29: الخواص الفيزيولوجية للأمونيا R717 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة.....	81
الجدول 30: الخواص الفيزيولوجية لثاني أكسيد الكربون R744 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة.....	83
الجدول 31: الخواص الفيزيولوجية للفرين R502 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة.....	85
لمحة موجزة عن النواقل التبريدية (وسائط التبريد المساعدة) مع جداول بالخواص الفيزيولوجية لبعض النواقل التبريدية.....	87
لمحة موجزة عن النواقل التبريدية (وسائط التبريد المساعدة).....	89
الجدول 32: درجة حرارة تجمد محلول NaCl و CaCl_2	91
الجدول 33: كثافة محلول NaCl بدلالة درجة الحرارة.....	92
الجدول 34: معامل التوصيل الحراري لمحلول NaCl بحسب درجة الحرارة.....	93
الجدول 35: السعة الحرارية لمحلول NaCl عند 0°C	94
الجدول 36: الخواص الفيزيولوجية لمحلول NaCl بحسب درجة حرارة وتركيز الملح.....	95
الجدول 37: كثافة محلول CaCl_2 بدلالة درجة الحرارة.....	97
الجدول 38: معامل التوصيل الحراري لمحلول CaCl_2 بحسب درجة الحرارة.....	98
الجدول 39: السعة الحرارية لمحلول CaCl_2 عند 0°C	100
الجدول 40: الخواص الفيزيولوجية لمحلول CaCl_2 بحسب درجة حرارة وتركيز الملح.....	101
الجدول 41: بارامترات الهواء الرطب عند 750 mmHg.....	104
الجدول 42: الخواص الفيزيولوجية للهواء الجاف عند 760 mmHg.....	106
الجدول 43: الخواص الفيزيولوجية للحليب.....	108

109.....	عليها. لمحة موجزة عن مخططات $i - \lg p$ المستخدمة في دراسة آلات التبريد الضاغطة البخارية وكيفية العمل
111.....	هيكلية مخططات وسائط التبريد المستخدمة في آلات التبريد البخارية.
114.....	مخطط $i - \lg p$ للفرين R11.
115.....	مخطط $i - \lg p$ للفرين R12.
116.....	مخطط $i - \lg p$ للفرين R13.
117.....	مخطط $i - \lg p$ للفرين R22.
118.....	مخطط $i - \lg p$ للفرين R23.
119.....	مخطط $i - \lg p$ للفرين R32.
120.....	مخطط $i - \lg p$ للفرين R113.
121.....	مخطط $i - \lg p$ للفرين R123.
122.....	مخطط $i - \lg p$ للفرين R134a.
123.....	مخطط $i - \lg p$ للفرين R142b.
124.....	مخطط $i - \lg p$ للإيثان R170.
125.....	مخطط $i - \lg p$ للفرين R404A.
126.....	مخطط $i - \lg p$ للفرين R407C.
127.....	مخطط $i - \lg p$ للفرين R410A.
128.....	مخطط $i - \lg p$ للفرين R502.
129.....	مخطط $i - \lg p$ للأمونيا R717.
130.....	مخطط $i - \lg p$ للماء R718.
131.....	مخطط $i - \lg p$ لثاني أكسيد الكربون R744.
132.....	مخطط $i - \lg p$ لمحلول ماء - أمونيا.
133.....	مخطط $i - \lg p$ لمحلول ماء - بروميد الليثيوم.
135.....	جداول خاصة بمستودعات التبريد.
137.....	الجدول 44: درجات الحرارة والرطوبة النسبية في المحافظات والمدن السورية.
138.....	الجدول 45: شروط ومدة التخزين لبعض المنتجات الغذائية.
139.....	الجدول 46: قيم معدلات التخزين لبعض السلع.

الجدول 47: معدل التخزين لكل $1m^2$ من مساحة سطح الأرض لغرف برادات المؤسسات التجارية والغذائية.....	140
الجدول 48: معامل الاستفادة من المساحة β	140
الجدول 49: خواص بعض المواد العازلة الحرارية والهيدروليكية والتراكيب الإنشائية.....	141
الجدول 50: قيم معامل انتقال الحرارة الكلي لكل من الجدران الخارجية والأغطية والسقوف.....	143
الجدول 51: قيم معامل الانتقال الحراري الكلي للجدران الداخلية.....	144
الجدول 52: قيم معامل الانتقال الحراري الكلي لأرضية غرف التبريد المسخنة.....	144
الجدول 53: عوامل انتقال الحرارة السطحية والمقاومة الترموحرارية لمختلف السطوح في مستودعات التبريد.....	145
الجدول 54: معاملات الانتقال الحراري للفواصل الجدارية ما بين الغرف التبريدية.....	145
الجدول 55: فرق درجات الحرارة الشمسي حسب توجيه السطح.....	146
الجدول 56: مدة المعالجة التبريدية لبعض المواد.....	147
الجدول 57: الانتالبي النوعي للمنتجات عند درجة حرارة المنتج.....	148
الجدول 58: السعة الحرارية النوعية للأغلفة والصناديق.....	149
الجدول 59: قيم التدفق الحراري المتسرب عبر الأبواب عند ارتفاع الغرفة حتى 6m.....	149
الجدول 60: كمية الحرارة المطروحة من الفواكه والخضار.....	150
الجدول 61: السرعة الحسابية لجريان وسيط التبريد في أنابيب دائرة التبريد.....	151
الجدول 62: أقطار الأنابيب الفولاذية المستخدمة مع الأمونيا.....	152
الجدول 63: أقطار الأنابيب النحاسية المستخدمة مع الفريون.....	153
حساب الأحمال التبريدية لمستودعات التبريد.....	155
حساب واختيار شبكة أنابيب دائرة التبريد.....	163
معجم المصطلحات العلمية باللغة الإنكليزية.....	165
جدول الرموز المستخدمة.....	169
المراجع المعتمدة.....	172

مقدمة

تعد هندسة التبريد من العلوم الهندسية المرتبطة ارتباطاً مباشراً بحياة البشر لأنها تلزمهم في مواقع مختلفة من حياتهم على مدار اليوم، وفي كافة فصول السنة، وذلك عبر التجهيزات المختلفة التي تعتمد في تصميمها وبنائها على هذه الهندسة، انطلاقاً من أجهزة التكييف المنزلي والصناعي والتجاري سواء المستخدمة للتكييف صيفاً أو للتدفئة شتاءً، وفي البرادات المنزلية ومستودعات التبريد أو في المجمعات الاستهلاكية والمطاعم والمشافي، وفي مراكز المعلومات وتمييع الغازات على أنواعها المختلفة وغيرها...

ولما كان الأساس النظري من شرح للمبادئ الأساسية من أجل الحصول على البرودة، وما تبعه من مفردات قد أشبع في كتاب هندسة التبريد بجزأيه الأول والثاني والذي يدرس لطلاب السنة الخامسة اختصاص ميكانيك عام - جامعة دمشق ومن أجل دراسة وتنفيذ أي مشروع وفق اختصاص أسس هندسة التبريد فإن ذلك يتطلب أن يكون هناك في متناول اليد معلومات مرجعية كثيرة تكون متوفرة عادة في مراجع مختلفة، ربما تكون صعبة المنال بالنسبة لكثير من الطلاب والمهندسين الذين لهم اهتمام بهذا الاختصاص ونظراً لفقر مكتبتنا العلمية العربية عن الإضاءة بمثل هذه المؤلفات. من هذا المنطلق ونتيجة خبراتنا المتراكمة خلال السنوات الماضية في الإشراف والتدريس لمقرر هندسة التبريد والتعامل مع أعزائنا الطلاب والمهندسين سمح لنا أن نتلمس ما يحتاجونه من جداول ومخططات $i - \log p$ لوسائط التبريد الشائعة الاستعمال، تساعدهم في دراسة وتنفيذ أي مشروع تبريد إن كانوا على مقاعد الدراسة أو مستقبلاً عند العمل في الواقع. يتضمن هذا الملحق أيضاً الجداول الضرورية المستخدمة عند تصميم مستودعات التبريد والتي تساعد الطلاب على مقاعد الدراسة أو المهندسين في الحياة العملية أو طلاب الدراسات العليا في أطروحاتهم، حيث نرفق جداول للمواد المراد تخزينها من حيث مدة التخزين وشروطه من حيث درجة الحرارة والرطوبة في المكان المطلوب التخزين فيه، بالإضافة إلى عرض جداول بالمواد العازلة المستخدمة في عزل الجدران والأسقف والأرضيات لمستودعات التبريد، وكذلك الجداول المستخدمة في اختيار معاملات انتقال الحرارة لجميع السطوح التي يمكن أن نواجهها في المشاريع. وأدرجنا كذلك جداول بأقطار الأنابيب المستخدمة في دارات التبريد سواء كانت نحاسية أم فولاذية.

ونظراً للارتباط الوثيق بين مقرر هندسة التبريد بمقرر انتقال الحرارة والكتلة ولضرورة احتياج الطلاب إلى التعرف والدخول في حساب أجهزة التبادل الحراري المستخدمة في آلات التبريد (المكثفات-المبخرات-المبادلات الحرارية الاسترجاعية والمبادلات الحرارية بأنواعها المختلفة...) فقد وجدنا أنه من المفيد إدراج جداول الخواص الفيزيولوجية لبعض النواقل الحرارية (التبريدية) (والتي نطلق عليها مصطلح وسائط التبريد المساعدة كمحاليل الأملاح: محلول كلور الصوديوم - محلول كلور الكالسيوم - الماء - ...)، أضف إلى ذلك إدراج الخواص الفيزيولوجية لوسائط التبريد الأساسية (الفريونات على اختلاف أنواعها - الأمونيا - ...) التي من دونها لا يمكن حساب سطوح التبادل الحراري لتلك الأجهزة، كما أدرجنا بعض المواصفات عن وسائط التبريد الحديثة صديقة البيئة. ولما كانت المنتجات المختلفة من الحليب (أجبان - ألبان - البوظة - الحليب المعقم ...) ومن كافة مصادره (أغنام،

أبقار، ماعز،...) تعتمد اعتماداً كلياً على أجهزة التبادل الحراري (كالمبادلات الصفائحية - البسترة - المجانس - خزانات تخمير البوظة ...)، كان من الواجب إضافة جداول بالخواص الفيزيوقحرارية للحليب.

يفيد هذا الكتاب طلاب المرحلة الجامعية الأولى وكذلك طلاب الماجستير والدكتوراه، أضف إلى ذلك إمكانية الاعتماد عليه في الواقع العملي للمهندسين العاملين في مجال تصميم مستودعات التبريد وفي تصميم أجهزة التبادل الحراري المستخدمة في محطات التبريد أو للشلرات (المكثفات - المبخرات - المبادلات الحرارية الاسترجاعية - ...).

نرجو أن نكون قد وفقنا في الهدف الأسمى الذي وضعناه لأنفسنا من صدور عملنا المتواضع هذا والذي يعد الأول من نوعه باللغة العربية بما يحتويه من معلومات مرجعية ضرورية والذي يعد رافداً لكتاب التبريد بجزأيه الأول والثاني بالإضافة لكتاب انتقال الحرارة لتشكل بمجملها اللبنة الأساسية التي يقوم عليها علم هندسة التبريد، وبحيث يفسح صدور هذا الملحق المجال أمام طلابنا الأعزاء مهندسي المستقبل إمكانية تواصلهم مع الواقع العملي وهم على مقاعد الدراسة.

ولا يسعنا في النهاية إلا أن نتقدم بالشكر الجزيل إلى أعضاء لجنة التقييم العلمي فرداً فرداً على كافة الملاحظات التي وجهوها لنا، كما سنكون شاكرين لأية ملاحظات مستقبلية توجه لنا لما فيه من رفع من سوية الملحق، كذلك نشكر كل من أسهم في إخراج هذا العمل إلى النور ونخص بالشكر المهندس فوزي الكيلاني الذي قام بإجراء التنسيق النهائي له.

دمشق 01-8-2016

الدكتور سهيل مرشة

الدكتور نديم مخبير

الجدول 1: النظام الدولي للوحدات SI

الجدول 2: العلاقة بين جملة الواحدات الدولية وجملة الواحدات البريطانية

الجدول 3: واحدات قياس الضغط مع ثوابت التحويل

الجدول 4: معامل التوصيل الحراري لبعض المعادن عند درجات حرارة مختلفة مقدر بـ W/mK

لمحة موجزة عن وسائط التبريد

الجدول 5: رموز وصيغ لبعض وسائط التبريد المختلفة مع البارامترات الحرجة





الجدول 1: النظام الدولي للوحدات SI

الرمز	الوحدة	التسمية	الرمز	الوحدة	التسمية
$Pa \cdot s$	باسكال بالثانية	اللزوجة التحريكية	الوحدات الأساسية		
m^2 / s	متر مربع على الثانية	اللزوجة الحركية	m	متر	الطول
J	جول	عمل - حرارة - طاقة	kg	كيلوغرام	الكتلة
W	واط	استطاعة - تدفق حراري	s	ثانية	الزمن
$J / kg \cdot deg$	جول لكل كيلوغرام درجة	الحرارة النوعية	A	أمبير	التيار الكهربائي
J / kg	جول لكل كيلوغرام	الحرارة الكامنة	K	كلفن	درجة الحرارة الترموديناميكية
J / kg	جول لكل كيلوغرام	الانتالبي النوعي		كانديلا	شدة الإضاءة
$J / kg \cdot deg$	جول لكل كيلو غرام درجة	الانتروبي النوعي	الوحدات المشتقة		
J / kg	جول لكل كيلوغرام	الطاقة الداخلية النوعية	m^2	متر مربع	المساحة
W / m^2	واط لكل متر مربع	كثافة التيار الحراري	m^3	متر مكعب	الحجم
$W / m \cdot deg$	واط لكل متر درجة	معامل التوصيل الحراري	m / s	متر بالثانية	السرعة
$W / m^2 \cdot deg$	واط لكل متر مربع درجة	معامل انتقال الحرارة الكلي	m / s^2	متر على الثانية مربع	التسارع
$W / m^2 \cdot deg$	واط لكل متر مربع درجة	معامل انتقال الحرارة بالحمل	kg / m^3	كيلو غرام للمتر مكعب	الكثافة
$W / m^2 K^4$	واط لكل متر مربع درجة للربعة	معامل الاشعاع	N	نيوتن	القوة
			Pa	باسكال	الضغط

وحدات الكتلة والقوة		
$1\text{ kgf s}^2 / \text{m} = 9.80665\text{ kg}$	$1\text{ kg} = 0.10197\text{ kgf s}^2 / \text{m}$	
$1\text{ kgf} = 9.80665\text{ N}$	$1\text{ N} = 0.10197\text{ kgf s}^2 / \text{m}$	
وحدات العمل والطاقة		
$1\text{ kgf m} = 9.80665\text{ J}$	$1\text{ J} = 0.10197\text{ kgf m}$	
$1\text{ kWh} = 3.6 \times 10^6\text{ J}$	$1\text{ J} = 0.27778 \times 10^{-6}\text{ kWh}$	
وحدات اللزوجة التحريكية		
$1\text{ kgf s} / \text{m}^2 = 9.80665\text{ Pa s}$	$1\text{ Pa s} = 0.10197\text{ kgf s} / \text{m}^2$	
$1\text{ kgf s} / \text{m}^2 = 9.80665\text{ kg} / \text{ms}$	$1\text{ kg} / \text{ms} = 0.10197\text{ kgf s} / \text{m}^2$	
وحدات الاستطاعة		
$1\text{ kgf m} / \text{s} = 9.80665\text{ W}$	$1\text{ W} = 0.10197\text{ kgf m} / \text{s}$	
$1\text{ kcal} / \text{h} = 1.16\text{ W}$	$1\text{ W} = 0.859845\text{ kcal} / \text{h}$	
الوحدات الحرارية		
$1\text{ cal} = 4.1868\text{ J}$	$1\text{ J} = 0.23885\text{ cal}$	كمية الحرارة
$1\text{ cal} / \text{s} = 4.1868\text{ W}$	$1\text{ W} = 0.23885\text{ cal} / \text{s}$ $= 0.859845\text{ kcal} / \text{h}$	التيار الحراري
$1\text{ cal} / \text{g} = 1\text{ kcal} / \text{kg}$ $= 4.1868\text{ kJ} / \text{kg}$	$1\text{ kJ} / \text{kg} = 0.23885\text{ kcal} / \text{kg}$	كمية الحرارة النوعية
$1\text{ cal} / \text{K} = 4.1868\text{ kJ} / \text{K}$	$1\text{ J} / \text{K} = 0.23885\text{ cal} / \text{K}$	السعة الحرارية للجسم
$1\text{ cal} / \text{kgK} = 1\text{ kcal} / \text{kgK}$ $= 4.1868\text{ kJ} / \text{kgK}$	$1\text{ J} / \text{kgK} = 0.23885 \times 10^{-3}\text{ kcal} / \text{kgK}$	الحرارة النوعية، الانتروبي النوعي
$1\text{ cal} / \text{cm}^2\text{s} = 41868\text{ W} / \text{m}^2$ $1\text{ kcal} / \text{m}^2\text{h} = 1.163\text{ W} / \text{m}^2$	$1\text{ W} / \text{m}^2 = 0.23885 \times 10^{-4}\text{ cal} / \text{cm}^2\text{s}$ $= 0.859845\text{ kcal} / \text{m}^2\text{h}$	التدفق الحراري النوعي
$1\text{ kcal} / \text{mhK} = 1.163\text{ W} / \text{mK}$	$1\text{ W} / \text{mK} = 0.859845\text{ kcal} / \text{mhK}$	الموصلية الحرارية
$1\text{ cal} / \text{cm}^2\text{sK} = 41868\text{ W} / \text{m}^2\text{K}$	$1\text{ W} / \text{m}^2\text{K} = 0.23885 \times 10^{-4}\text{ cal} / \text{cm}^2\text{sK}$ $= 0.859845\text{ kcal} / \text{m}^2\text{hK}$	معامل انتقال الحرارة بالحمل، معامل انتقال الحرارة الكلي

الجدول 2: العلاقة بين جملة الواحدات الدولية وجملة الواحدات البريطانية

الواحدات البريطانية	الواحدات الدولية	
$1\text{ ft} = 0.3048\text{ m}$ $1\text{ in} = 0.0254\text{ m}$	$1\text{ m} = 1.0936\text{ yd}$ $= 3.2808\text{ ft}$ $= 39.37\text{ in}$	الطول
$1\text{ yd}^2 = 0.836\text{ m}^2$ $1\text{ ft}^2 = 0.0929\text{ m}^2$ $1\text{ in}^2 = 6.452 \times 10^{-4}\text{ m}^2$	$1\text{ m}^2 = 1.196\text{ yd}^2$ $= 10.764\text{ ft}^2$ $= 1550\text{ in}^2$	المساحة
$1\text{ ft}^3 = 0.0283\text{ m}^3$ $1\text{ in}^3 = 16.39 \times 10^{-6}\text{ m}^3$ $1\text{ gal} = 3.785 \times 10^{-3}\text{ m}^3$	$1\text{ m}^3 = 35.336\text{ ft}^3$ $= 6.1 \times 10^{-4}\text{ in}^3$	الحجم
$1\text{ ton} = 2000\text{ lb}$ $= 907.184\text{ kg}$ $1\text{ long ton} = 1016.05\text{ kg}$ $1\text{ lb} = 16\text{ oz} = 0.4536\text{ kg}$ $1\text{ oz} = 28.35\text{ g}$	$1000\text{ kg} = 1.102\text{ ton}$ $1\text{ kg} = 2.2046\text{ lb}$ $1\text{ kg} = 35.273\text{ oz}$	الكتلة
$1\text{ ft}^3 / \text{lb} = 0.0624\text{ m}^3 / \text{kg}$	$1\text{ m}^3 / \text{kg} = 16.018\text{ ft}^3 / \text{lb}$	الحجم النوعي
$1\text{ lb} / \text{ft}^3 = 16.018\text{ kg} / \text{m}^3$ $1\text{ oz} / \text{ft}^3 = 1.0\text{ kg} / \text{m}^3$	$1\text{ kg} / \text{m}^3 = 0.0624\text{ lb} / \text{ft}^3$ $= 1.0\text{ oz} / \text{ft}^3$	الكثافة
$1\text{ lb} / \text{ft}^2 = 4.88\text{ kgf} / \text{m}^2$ $= 47.856\text{ Pa}$ $1\text{ lb} / \text{in}^2 = 702.7\text{ kgf} / \text{m}^2$ $= 6.89 \times 10^3\text{ Pa}$	$1\text{ Pa} = 0.021\text{ lb} / \text{ft}^2$ $= 0.145 \times 10^{-3}\text{ lb} / \text{in}^2$	الضغط
$1^\circ\text{F} = \left(\frac{9}{5} \times 1^\circ\text{C}\right) + 32$ $1\text{ R} = 0.8^\circ\text{C}$	$1^\circ\text{C} = \frac{5}{9}(1^\circ\text{F} - 32)$ $= 1.25\text{ R}$	درجة الحرارة
$1\text{ Btu} = 0.252\text{ kcal}$ $= 1.055\text{ kJ}$ $1\text{ Pcu} = 1.8\text{ Btu} = 0.4536\text{ kcal}$ $= 1.9\text{ kJ}$	$1\text{ kJ} = 0.948\text{ Btu}$ $= 0.526\text{ Pcu}$	كمية الحرارة
$1\text{ Btu} / \text{ft}^2 / \text{h} = 3.153\text{ W} / \text{m}^2$ $= 2.71\text{ kcal} / \text{m}^2\text{h}$ $1\text{ Pcu} / \text{ft}^2\text{h} = 5.675\text{ W} / \text{m}^2$ $= 4.878\text{ kcal} / \text{m}^2\text{h}$	$1\text{ W} / \text{m}^2 = 0.317\text{ Btu} / \text{ft}^2\text{h}$ $= 0.176\text{ Pcu} / \text{ft}^2\text{h}$	كثافة التدفق الحراري

$1 \text{ Btu} / \text{lb}^\circ \text{F} = 1.0 \text{ kcal} / \text{kg K}$ $= 4.19 \text{ kJ} / \text{kg K}$	$1 \text{ kJ} / \text{kg K} = 0.239 \text{ Btu} / \text{lb}^\circ \text{F}$	السعة الحرارية
$1 \text{ Btu} / \text{ft}^2 \text{ h}^\circ \text{F} = 4.822 \text{ kcal} / \text{m}^2 \text{ h K}$ $1 \text{ Pcu} / \text{ft}^2 \text{ h}^\circ \text{F} = 4.878 \text{ kcal} / \text{m}^2 \text{ h K}$ $= 5.67 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}$	$1 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K} = 0.178 \text{ Btu} / \text{ft}^2 \text{ h}^\circ \text{F}$ $= 0.176 \text{ Pcu} / \text{ft}^2 \text{ h}^\circ \text{F}$	معامل انتقال الحرارة بالحمل
$1 \text{ Btu} / \text{ft h}^\circ \text{F} = 1.488 \text{ kcal} / \text{m h K}$ $= 1.73 \text{ W} / \text{m K}$	$1 \text{ W} / \text{m K} = 0.578 \text{ Btu} / \text{ft h}^\circ \text{F}$	الموصلية الحرارية
$1 \text{ ft}^2 / \text{s} = 334.45 \text{ m}^2 / \text{h}$ $= 0.929 \text{ m}^2 / \text{s}$ $= 929 \text{ St}$	$1 \text{ m}^2 / \text{s} = 1.076 \text{ ft}^2 / \text{s}$	اللزوجة الحركية

ينتشر حتى وقتنا الحاضر وبصورة واسعة واحدة من خارج النظام الدولي للوحدات لقياس الاستطاعة في مجال التبريد ندعوها الطن التبريدي، وهو بالتعريف كمية الحرارة اللازمة لإذابة 1 طن (2,000 رطل) من الجليد في درجة حرارة 32°F خلال 24 ساعة. بما أن حرارة انصهار الجليد عند درجة حرارة 32°F هي $144 \text{ Btu} / \text{lb}$:

$$1 \text{ ton R} = \frac{1 \times 2,000 \times 144}{24} = 12,000 \text{ Btu} / \text{h}$$

$$= 3.516 \text{ kW}$$

الجدول 3: وحدات قياس الضغط مع ثوابت التحويل

وحدات الضغط							الوحدات
<i>psi</i>	<i>inH₂O</i>	<i>mmH₂O</i>	<i>mmHg</i>	<i>kgf / cm²</i>	<i>bar</i>	<i>Pa</i>	
0.000145	0.0040	0.102	7.5024×10^{-3}	1.02×10^{-5}	10^{-5}	1	<i>Pa</i>
14.5038	401.46	1.02×10^4	7.5024×10^2	1.02	1	10^5	<i>bar</i>
14.2233	393.70	10^4	735	1	0.98067	9.8067×10^4	<i>kgf / cm²</i>
0.01934	0.5352	13.6	1	1.36×10^3	1.33×10^{-3}	133	<i>mmHg</i>
0.00142	0.0394	1	7.35×10^{-2}	10^{-4}	9.8067×10^{-5}	9.8067	<i>mmH₂O</i>
0.03613	1	25.4	1.8683	0.00254	0.00249	249.09	<i>inH₂O</i>
1	27.68	703.07	51.715	0.07031	0.06895	6895	<i>psi</i>

الجدول 4: معامل التوصيل الحراري لبعض المعادن عند درجات حرارة مختلفة مقدر

بالـ W/mK

المعدن	200 K − 73.15°C	300 K 26.85°C	400 K 126.15°C	600 K 326.15°C	800 K 526.15°C
ألومنيوم	237	237	240	230	220
تتغستين	185	174	159	137	125
حديد	94	80	70	55	43
ذهب	323	317	311	298	284
كوبالت	122	100	85	67	58
كونستانتان	=	22	24	32	=
نحاس أصفر	=	110	=	140	150
نحاس أحمر	413	401	393	397	366
نيكل	107	91	80	66	68
نيكروم	=	12	=	=	23
قصدير	73	67	62	س	س
بلاتين	73	72	72	73	76
رصاص	37	35	34	31	س
فضة	430	429	425	412	396
تيتان	25	22	20	19	20
كروم	111	94	91	81	71
زنك	118	116	111	103	س

س: سائل

=: لا يوجد معطيات

لمحة موجزة عن وسائط التبريد

يعد حل مشاكل التغذية (حفظ، نقل، معالجة،...) بدون تقنيات التبريد أمراً مستحيلاً قديماً وحاضراً ومستقبلاً، ويعد وسيط التبريد الموجود ضمن أي آلة تبريد ضاغطة بخارية العنصر الأهم والتي تحدد خواصه نمط وتركيب ومنطقة استخدام محطة التبريد.

انتشر استخدام وسائط التبريد الطبيعية مع بداية استخدام التبريد في القرن الثامن عشر وتم ترميزها حسب صيغتها الكيميائية: الأمونيا (NH_3) ، ثاني أكسيد الكربون (CO_2) ، كلور الميثيلي ، ثاني أكسيد الكبريت (SO_2). أغلبها لم يجد انتشاراً، في حين بعضها الآخر تم استخدامه لعشرات السنين، فقد بدأ استخدام الأمونيا على سبيل المثال عام 1872 واستمر حتى وقتنا الحالي في محطات التبريد الضخمة وفي التبريد الامتصاصي. انتشر استخدام الأمونيا في الآلات المستقرة بإنتاجية كبيرة، بينما انتشر استخدام ثاني أكسيد الكربون في محطات التبريد على البواخر (بسبب انخفاض سميته) أما الكلور الميثيلي وثاني أكسيد الكبريت فاستخدم في آلات التبريد الصغيرة وفي أنظمة تكييف الهواء حيث يعدان خاملين للمعادن الزهريّة.

غير أن السمية العالية لوسائط التبريد الآتفة الذكر جعلت منها سبباً لتوحيد جهود العلماء والباحثين على مستوى العالم في جميع مراكز الأبحاث والمؤسسات العلمية والجامعات لإيجاد بدائل عنها ولكن بسمية أقل.

وسيط التبريد هو الجسم العامل الذي بواسطته تتجزأ آلة التبريد الضاغطة البخارية الدورة العكسية. في هذه الآلات يغلي وسيط التبريد عند درجات حرارة منخفضة حيث يمتص الحرارة من الوسط المراد تبريده (الهواء في الغرفة أو سائل النقل الحراري)، طارحاً هذه الحرارة في المكثف للوسط المستخدم في عملية تبريده (الماء أو الهواء المحيط أو كليهما)، متحولاً من الحالة الغازية إلى السائلة.

كوسائط تبريد في آلات التبريد الضاغطة البخارية يستخدمون أجسام تشغيل تملك خواص ترموديناميكية وكيميائية وفيزيائية خاصة، تضمن استثمار تلك الآلات اقتصادياً وبأقل خطورة تذكر.

لمحة تاريخية

منذ نهاية عام 1880 حتى عام 1929 كان الصناعيون يستخدمون كوسيط تبريد في البرادات الأمونيا وميثيل الكلور (CH_3Cl) و (SO_2)، غير أن السمية العالية لوسائط التبريد الآتفة الذكر وحدت جهود ثلاث شركات أمريكية هي Frigidaire و DuPont و General Motors Research في إنتاج أكثر وسائط التبريد الأقل خطورة والتي انتشر استخدامها بصورة واسعة على مستوى العالم حتى يومنا هذا. ففي عام 1928 نجح الكيميائي الأميركي Thomas Midgley, Jr. (1889—1944) العامل في شركة General Motors Research ومن مختبره على الحصول على مركب كيميائي حصل فيما بعد على تسمية "الفيون"، وبعد مضي فترة من الوقت قامت شركة Kinetic Chemical Company بإنتاج الفيون-12 صناعياً، والذي أصبح في وقت ما وسيط التبريد الأول على مستوى العالم المستخدم في البرادات المنزلية. ونظراً لصعوبة التداول بوسائط التبريد بصيغها الكيميائية وحدت الهيئات القياسية العالمية ترميز وسائط التبريد بالشكل (RN) حيث (R) الترميز العالمي لوسيط التبريد مهما كان

وهو عبارة عن الحرف الأول من كلمة Refrigerant باللغة الإنكليزية و N الرقم الموافق لوسيط التبريد بحسب مكوناته. على سبيل المثال R22 هو الفريون-22 و R12 هو الفريون-12 و R502 هو الفريون-502 وهكذا... وكما نلاحظ فإن الرقم الموجود على يمين الحرف R قد يكون مؤلفاً من منزلتين أو ثلاث منازل وأحياناً يكون الجزء العددي من الترميز يحتوي على أحرف كما هو الحال مع R134a الفريون-134a و R404A الفريون-404A. الذي يلعب الدور الأساسي في هذا الترميز هو التركيب الجزيئي الكيميائي للوسيط (بحسب الصيغة الكيميائية لوسيط التبريد أي بحسب عدد ذرات كل من: الكلور والفلور والكربون والهيدروجين الداخلة في الصيغة الكيميائية للوسيط) أو لاعتبارات أخرى سوف نتناولها فيما بعد. وبالتالي فإن الصيغة الموحدة (العامة) لأي وسيط تبريد هي من الشكل R-xyz.

في الوقت الراهن معروف بحدود 100 وسيط تبريد تقريباً. أكثر وسائط التبريد انتشاراً هي: الهواء - الماء - الأمونيا - ثاني أكسيد الكربون - مركبات الهيدروكربونات النقية (بروبان - ميثان - ازوبوتان - البوتان وغيرها...) - الكلور - الفلور - الفريونات بأنواعها المختلفة...

الفريونات: مركبات هيدروكربونية (إيثان C_2H_6 - ميثان CH_4 - بروبان C_3H_8 - بوتان C_4H_{10})، تستبدل فيها ذرات الهيدروجين جزئياً أو بصورة كلية بالفلور والكلور (وفي حالات خاصة البروم). أي يدخل في تكوينها الكلور والفلور والكربون (يرمز لها عموماً بالـ CFC التي تمثل الأحرف الأولى من أسماء العناصر الثلاثة السابقة، على سبيل المثال: CCl_2F_2 - (R12) حيث كان استبدال ذرات الكلور والفلور بذرات الهيدروجين كاملاً. أما إذا كان الاستبدال جزئي لذرات الهيدروجين عندها يصبح الشكل المختصر HCFC، على سبيل المثال: (R22) - $(CHClF_2)$.

إن أجسام التشغيل العاملة في آلات التبريد الضاغطة البخارية كوسائط تبريد، بعضها وحيدة التركيب أو مواد نقية، ولكن الأغلب هي خلائط من مادتين أو أكثر. مركبات وسائط التبريد النقية مثل الفريون-12 (R12) والفريون-22 (R22) اللذين لا يغيران من تركيبهما عند تغير حالتها الطورية (الانتقال من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية في المبخر، وبالعكس من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة في المكثف) وذلك ضمن دائرة التبريد الضاغطة البخارية الواحدة.

يرمز لوسائط التبريد من مشتقات الميثان بعدد مؤلف من منزلتين (على سبيل المثال CCl_2F_2 - (R12): كما نلاحظ فإن ذرات الهيدروجين الأربع الداخلة في تكوين الصيغة الكيميائية للميثان تم استبدالها كلياً بذرتين من الكلور وذرتين فلور مع بقاء ذرة الكربون، بينما الفريون-22 **استبدلنا ذرات الهيدروجين فيه جزئياً** إلى ذرتي فلور وذرة كلور واحدة وفق الصيغة التالية $(CHClF_2)$.

يشير الرقم الأول (1) من الترميز إلى طائفة الميثان، والرقم التالي (2) يتوافق مع عدد ذرات الفلور في المركب. في الحالة عندما يكون ذرات الهيدروجين ليست منزوعة بالكامل من تركيب العنصر فإنه يضاف لمرتبة العشرات عدد ذرات الهيدروجين المتبقية في المركب، على سبيل المثال R22.

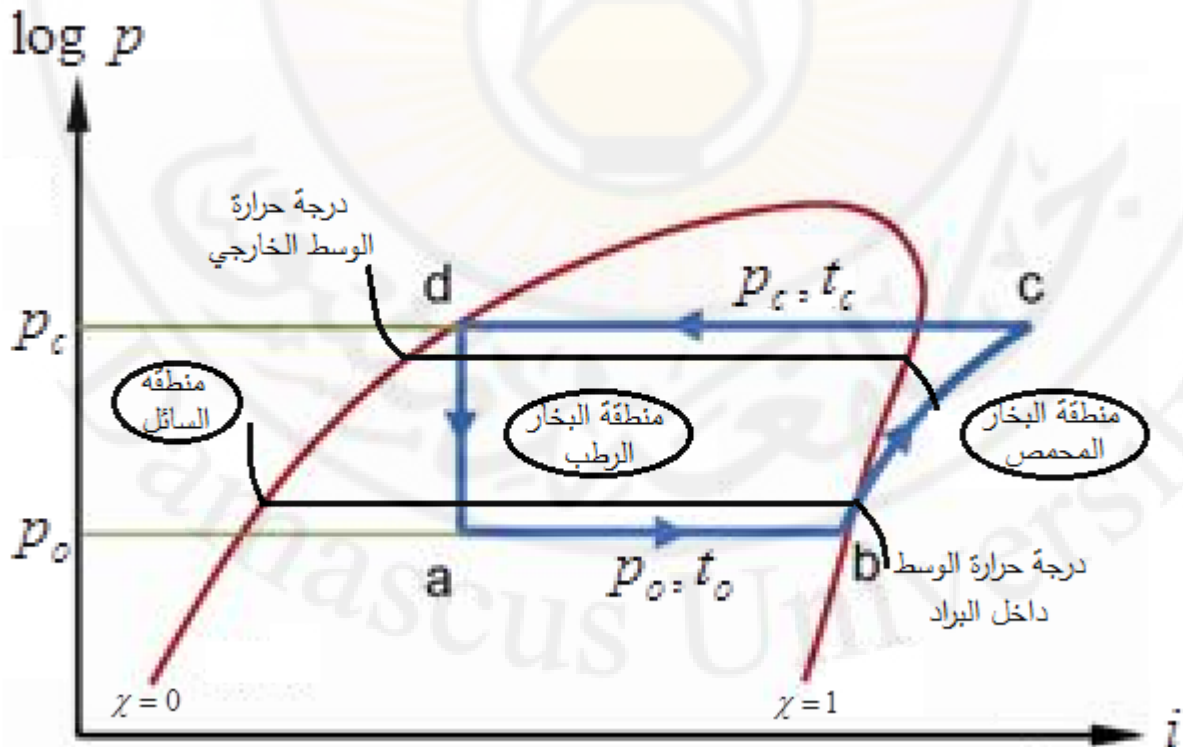
بينما يرمز لمشتقات الايتان والبرويان والبوتان بعدد مؤلف من ثلاث منازل (R143 – C₂H₃F₃; R317 –

(C₄F₇Cl

ندمج في ترميز وسائط التبريد الداخل في تركيبها البروم إلى الجزء العددي حرف B والذي يساوي إلى عدد ذرات البروم في الجزيء. على سبيل المثال R13B1 – CF₃Br، سوف نبين لاحقاً الأسلوب المتبع في كتابة صيغ وسائط التبريد السابقة.

في بعض آلات التبريد من المناسب استخدام خلائط لوسائط تبريد. تم العمل على إنتاج خلائط مختلفة من وسائط تبريد، تتألف تلك الخلائط من مركبين أو أكثر مجموعين وفق نسب محددة. تصنف تلك الخلائط وفق خصائصها إلى: أزيوتروبية ولاأزيوتروبية. يختلف سلوك وسائط التبريد من كلا المجموعتين بعضهما عن بعض، الأمر الذي يظهر تأثيراً على دورة التبريد. لنظهر هذه الاختلافات بين الوسائط الأزيوتروبية واللاأزيوتروبية:

الخلائط الأزيوتروبية: لا تغير تركيبها الحجمي بصورة ملحوظة، ولا درجة حرارة الإشباع سواء عند التكاثف أو الغليان عند ثبوت الضغط. موضح على الشكل (١) مخطط $i - \lg p$ لدورة آلة التبريد الضاغطة البخارية العادية، كما نلاحظ أن عملية التكاثف وكذلك عملية التبخر تجريان عند قيم ثابتة لكل من الضغط ودرجة الحرارة الموافقين لكل عملية، (أي الخلائط التي تغلي وتتكاثف عند درجة حرارة ثابتة، كما هو الحال في حالة الوسائط النقية). بينما الخلائط اللاأزيوتروبية، تجريان بوجود انزياح بدرجة حرارة التكاثف أو الغليان عند تغير حالتها، علماً أن ذلك ليس له تأثير ملحوظ على البارامترات الهندسية وأمان عمل المحطة.



الشكل ١

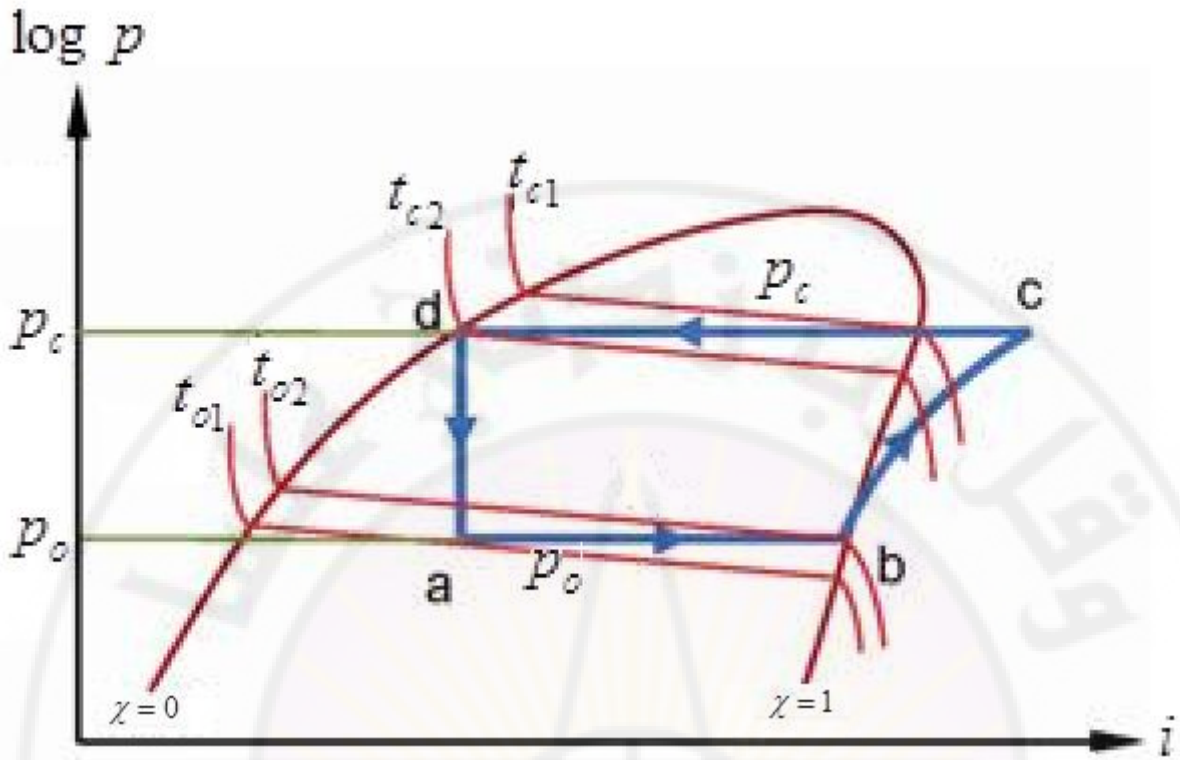
أغلب الخلطات الأزيوتروبية تغلي عند درجات حرارة منخفضة، مقارنة مع مركباتها. على سبيل المثال خليط مؤلف من 74.2% وفق الكتلة من الفريون-12 ذي الصيغة الكيميائية (CCl₂F₂) و 25.8% من الفريون-152 (C₂H₄F₂) فإن درجة حرارة غليانه الطبيعية هي -33.5°C ، بينما درجتي حرارة الغليان الطبيعية للمركبين الداخليين في تركيب الخليط هما: -29.8°C للفريون-12 و -25°C للفريون-152. الخليط الأزيوتروبي المؤلف من 48.8% فريون-22 وفق الكتلة ذي الصيغة التالية (CHClF₂) مع 51.2% فريون-115 (C₂H₄F₂) ندعوه فريون-502، وهو غير قابل للانفجار وليس ضاراً على صحة الإنسان، ويتساوى بدرجة السمية مع الفريون-12 كما له خواص ترموديناميكية ومعاملات طاقة جيدة. درجة حرارة الغليان الطبيعية للخليط -45.6°C في حين مركباته تغلي عند درجات حرارة أعلى.

يستخدم لترميز الخلطات الأزيوتروبية عن طريق إعطائها الحرف R مرفقا برقم مؤلف من ثلاث منازل يبدأ بالرقم 500 ويمكن أن نأخذ مثالا" عليها R502 الفريون-502.

الخلطات اللازيوتروبية: تملك خصائص مختلفة مقارنة مع المجموعة السابقة وخصوصاً أن درجتي حرارة التكاثف والغليان تتغيران بصورة ملحوظة عند تغير حالتها، كذلك تغير من تركيبها الحجمي. يظهر على الشكل (٢) تغير خواص وسيط التبريد الزيتروبي السائل (درجة حرارة غليانها وتكاثفها تتغير في عمليات التحول الطوري) يمكن التأكد بأن عملية الغليان والتكاثف تجريان عند ثبات الضغط، ولكن مع تغير درجة الحرارة بإزاحة محددة الأيزوترم على مخطط $i - \lg p$ في منطقة البخار المشبع الرطب يكون مائلاً عن الإيزوبار، أي أن عملية الغليان عند $p = \text{const.}$ تجري مع ارتفاع في درجة حرارة وسيط التبريد من t_{o1} حتى t_{o2} . ويجري في الوقت نفسه عند التكاثف عملية تخفيض لدرجة الحرارة، الشكل (٢).

أعطيت الخلطات اللازيوتروبية ترميزاً يبدأ بالرقم 400 مع ترقيم داخلي عشوائي من أجل كل وسيط تبريد ضمنها على سبيل المثال R401A: ((R22 + R152A + R124 (53%+ 13%+34%)) (R401A: R22 + R152A + R124 (53%+ 13%+34%)) يشير الرقم الأول من الجزء الرقمي لرمز الفريون (RN) إلى المركب الكربوني المتشكل منه وسيط التبريد (يرمز لطائفة الميثان بالرقم 1 وطائفة الإيثان بالرقم 11 ولطائفة البروبان بالرقم 21 وطائفة البوتان بالرقم 31...) بعد ذلك نضع في الجزء الرقمي على العدد المعبر عن ذرات الفلور الموجودة في تركيب وسيط التبريد، على سبيل المثال:

طائفة الميثان	طائفة الإيثان	طائفة البروبان
R11: CFCl ₃	R113: C ₂ F ₃ Cl ₃	R216: C ₃ F ₆ Cl ₃
R12: CF ₂ Cl ₂	R114: C ₂ F ₄ Cl ₂	
R21: CHFCl ₂	R143: C ₂ H ₃ F ₃	
R23: CHF ₃		



الشكل ٢

بمرور عشرات السنين وبالأخص عام 1973 بين البروفسور "جيمس لافلوك" عن وجود آثار وسائط التبريد في الغلاف الجوي وفي عام 1974 أظهر العالمان "ماريو مولينا" و"شيروود رولاند" عن وجود CFC في الطبقات العليا للستراتوسفير والتي تؤثر في تحطيم طبقة الأوزون.

في بداية التسعينيات من القرن الماضي تم اقتراح وسائط تبريد لا تعمل على تحطيم طبقة الأوزون الموجودة في تركيب الغلاف الجوي والتي تحمي الأرض بما عليها من كائنات حية حيوانية ونباتية من الأشعة فوق البنفسجية، وكان أول وسيط تبريد تم إنتاجه محققاً هذا الشرط هو R-134a وذلك كبديل عن R-12. كانت الصعوبة بمكان من أجل إيجاد بديل عن وسيطي التبريد R502 و R22.

منعت معاهدة مونتريال استعمال طائفة وسائط التبريد التي تتبع للمجموعة CFC اعتباراً من 1 كانون الثاني 1996. في حين تم تأخير هذا الموعد لوسائط تبريد المجموعة HCFC بحيث يبدأ اختصار إنتاجها واستعمالها من عام 2005 والإلغاء التام في عام 2020. لهذا يجري في الوقت الحالي إطلاق وسائط تبريد أرخص وملائمة لشروط معاهدة مونتريال. ميزة HCFC مقارنة مع CFC بنها أقل تأثير على طبقة الأوزون.

بحسب درجة تأثير وسائط التبريد على طبقة الأوزون فإنهم يصنفون الفريونات إلى:

المجموعة	تصنيف المركب	الفریون	التأثير على طبقة الأوزون
A	كلور فلور كربون (CFC)	R12, R13, R111, R11, R112, R113, R113a, R114;9, R115	فريونات تعمل على نفاذ طبقة الأوزون
	بروم فلور كربون	R12B1, R12B2, R113B2, R13B2, R13B1, R21B1, R22B1, R114B2	
B	هيدروجين كلور فلور كربون (HCFC)	R21, R22, R31, R121, R122, R123, R124, R131, R132, R133, R141, R142b, R151, R221, R222, R223, R224, R225, R231, R232, R233	فريونات تؤثر بصورة طفيفة على نفاذ طبقة الأوزون
C	هيدروجين كلور كربون (HFC)	R23, R32, R41, R125, R134, R143, R152, R161, R227, R236, R245, R254	فريونات بدون خطر يذكر على الأوزون
	فلور كربون (CF)	R116, R218, R318c, R14	

الترميز المختصر لوسائط التبريد

يصنفون وسائط التبريد إلى طبيعية واصطناعية ، ينسب لوسائط التبريد الاصطناعية كل الفريونات (خلاط الفريونات المختلفة). والتي يستخدم في ترميزها القواعد التالية:

- أ- يدل رمز الفريون لهذه المجموعة والذي يأخذ الشكل العام التالي Rxyz على المعلومات التالية:
- ١- يدل الرقم الأول من اليمين (الآحاد $z \equiv$) إلى عدد ذرات الفلور في المركب.
 - ٢- يدل الرقم الثاني من اليمين (العشرات $y \equiv$) إلى عدد ذرات الهيدروجين مضافاً إليه واحد.
 - ٣- يرمز الرقم الثالث من اليمين (المئات $x \equiv$) إلى عدد ذرات الكربون منقوص منه واحد.
 - ٤- يكون عدد ذرات الكلور في الفريون بحيث يحقق المعادلة التالية $C_n(H, Cl, F)_{2n+2}$ حيث n عدد ذرات الكربون.

لنكتب الصيغة الكيميائية للفريون R-13:

- يشير رقم الآحاد ($z=3$) إلى عدد ذرات الفلور أي ($F=3$).
- يشير رقم العشرات ($y=1$) إلى عدد ذرات الهيدروجين مضاف له واحد أي ($H=0 \Leftarrow H+1=1$).

- يشير رقم المئات إلى عدد ذرات الكربون منقوص منه واحد ($C = 1 \Leftrightarrow C-1 = 0$).
- نحدد عدد ذرات الكلور من العلاقة: $H+F+Cl = 2n+2 \Leftrightarrow Cl = 4 - (3+0) = 1$ ، أي أن عدد ذرات الكلور $Cl=1$

وبالتالي الصيغة الكيميائية للفيون R13 هي : CF_3Cl .

لنكتب الصيغة الكيميائية للفيون R-12

بحسب القواعد المبينة أعلاه يمكن أن نكتب:

- عدد ذرات الفلور هو ($F = 2$).
- عدد ذرات الهيدروجين هو ($H = 0 \Leftrightarrow H+1 = 1$).
- عدد ذرات الكربون هو ($C = 1 \Leftrightarrow C-1 = 0$).
- عدد ذرات الكلور هو $H+F+Cl = 2n+2 \Leftrightarrow Cl = 4 - (2+0) = 2$

وبالتالي الصيغة الكيميائية لـ R-12 هي: CF_2Cl_2 .

ب- الطائفة R400 هي خلأط لازيوترونية.

ت- الطائفة R500 هي خلأط ازيوترونية.

ث- وسأط التبريد ذات المنشأ العضوي منحت السلسلة 600، على سبيل المثال إزوبوتان (R600A) والرقم الخاص بكل وسأط تبريد داخل هذه السلسلة يرمز له اختيأرياً. (على سبيل المثال، الميتيلامين له العدد 30، وبالتالي يرمزون له بـ R630).

ابتداءً من مشتقات الإيتان الهالوجينية، ظهرت الأيسومرات. الأيسومر المتماثل يعكس فقط رقم تركيب موحد، كلما ازداد اللاتماثل يضاف لرقم التركيب الموحد للأيسومر المعطى حرف (a)، عند وجود لاتماثل كبير يستبدلونه بحرف (b)، على سبيل المثال: R134: CHF_2-CHF_2 و R134a: CF_3CH_2F .

من أجل وسأط التبريد على أساس الهيدروكربون الحلقى ومشتقاتها ، يضعون بعد الحرف R وقبل الجزء الرقمي الحرف C، على سبيل المثال RC270.

ج- تنسب لوسأط التبريد الطبيعية: الأمونيا - الهواء - الماء- غاز ثاني أوكسيد الكربون - ...، وقد تم إعطاؤها الرمز R مع الرقم 700، مع استبدال الآحاد والعشرات لهذا الرقم بحسب الوزن الجزيئي للمركب (للسأط)، عندها نكتب

R717: يدل على وسأط التبريد الأمونيا (حيث الوزن الجزيئي للأمونيا يساوي 17).

R718: يدل على الماء (حيث الوزن الجزيئي للماء يساوي 18).

R729: يدل على الهواء (حيث الوزن الجزيئي للهواء يساوي 29).

ح- تشبه طريقة الترميز الرقمي للمركبات الهيدروكربونية غير المشبعة ومشتقاتها الهالوجينية تلك الواردة أعلاه، ولكن بعد أن نضيف إلى (الجزء الرقمي ومن الجهة اليسارية الرقم (1) لترمز للآلاف (على سبيل المثال R1150).



الجدول 5: رموز وصيغ لبعض وسائط التبريد المختلفة مع البارامترات الحرجة

التسلسل	الرمز	الصيغة الكيميائية	درجة حرارة الغليان الطبيعية عند 760mmHg [°C]	الضغط الحرج MPa	درجة الحرارة الحرجة [°C]	درجة حرارة التجمد [°C]
1	R11	CFCl ₃	+23.7	4.37	198.0	-111.0
2	R12	CF ₂ Cl ₂	-29.8	4.12	111.8	-155.0
3	R13	CF ₃ Cl	-81.5	3.85	28.78	-180.0
4	R13B1	CF ₃ Br	-57.8	6.56	67.0	-143.2
5	R22	CHF ₂ Cl	-40.8	4.99	96.2	-160.0
6	R32	CH ₂ F ₂	-51.7	5.80	78.2	-137.0
7	R113	C ₂ F ₃ Cl ₃	+47.6	3.41	214.1	-36.6
8	R125	CHF ₂ CF ₃	-48.1	3.63	66.3	-103.0
9	R134a	CH ₂ FCF ₃	-26.1	4.06	101.1	-103.3
10	R142b	CH ₃ CClF ₂	-9.8	4.15	136.45	-
11	R290	C ₃ H ₈	-42.09	4.25	96.7	-188.0
12	R402a	R125 (60%) R22 (38%) R290 (2%)	-49.2	4.13	75.5	-
13	R402b	R22 (60%) R125 (38%) R290 (2%)	-47.4	4.45	82.6	-
14	R404a	R143a (52%) R125 (44%) R134a (4%)	-46.5	3.73	72.1	-
15	R406a	R22 (55%) R142b (41%) R600a (4%)	-32.4	4.58	114.5	-
16	R407c	R134a (52%) R125 (25%) R32 (23%)	-43.6	4.82	87.3	-
17	R410a	R32 (50%) R125 (50%)	-51.4	4.95	71.8	-

-	89.9	4.10	-45.0	R134a (50%) R125 (46.6%) R600a (3.4%)	R417a	18
-160.0	82.1	4.07	-45.6	R115 (51.2%) R22 (48.8%)	R502	19
-	70.9	3.79	-46.7	R125 (50%) R143a (50%)	R507a	20
-159.0	135.0	3.65	-11.8	CH(CH ₃) ₂ -CH ₃	R600a	21
-77.7	132.4	11.28	-33.3	NH ₃	R717	22
-0.1	374.15	22.11	+100	H ₂ O	R718	23
-56.6	31.0	7.36	-78.9	CO ₂	R744	24

جداول الخواص الترموديناميكية لوسائط التبريد الأكثر انتشاراً

- الجدول 6: الخواص الترموديناميكية للأمونيا R717 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة
- الجدول 7: الخواص الترموديناميكية للبرون R11 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة
- الجدول 8: الخواص الترموديناميكية للبرون R12 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة
- الجدول 9: الخواص الترموديناميكية للبرون R13 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة
- الجدول 10: الخواص الترموديناميكية للبرون R22 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة
- الجدول 11: الخواص الترموديناميكية للبرون R113 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة
- الجدول 12: الخواص الترموديناميكية للبرون R142b على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة
- الجدول 13: الخواص الترموديناميكية للبرون R502 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة
- الجدول 14: الخواص الترموديناميكية للإيثان R170 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة
- الجدول 15: الخواص الترموديناميكية للبرون R134a على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة
- الجدول 16: الخواص الترموديناميكية للبرون R410A على خطي التكاثف والغليان حسب الضغط
- الجدول 17: الخواص الترموديناميكية للبرون R404A على خطي التكاثف والغليان حسب الضغط
- الجدول 18: الخواص الترموديناميكية للبرون R123 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة
- الجدول 19: الخواص الترموديناميكية للبرون R32 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة
- الجدول 20: الخواص الترموديناميكية للبرون R407C على خطي التكاثف والغليان حسب الضغط
- الجدول 21: الخواص الترموديناميكية للماء R718 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة
- الجدول 22: الخواص الترموديناميكية للماء R718 على خطي التكاثف والغليان حسب الضغط



الجدول 6: الخواص الترموديناميكية للأمونيا R717 على خطي التكاثف والغليان
حسب درجة الحرارة

t [°C]	p [bar]	v' [m ³ /kg]	v'' [m ³ /kg]	i' [kJ/kg]	i'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kgK]	s'' [kJ/kgK]
-77.65	0.0609	0.001364	15.602	-143.15	1341.23	1484.38	-0.4716	7.1213
-70.00	0.1094	0.00138	9.0079	-110.81	1355.55	1466.36	-0.3094	6.9088
-60.00	0.2189	0.001401	4.7057	-68.06	1373.73	1441.79	-0.104	6.6602
-50.00	0.4084	0.001424	2.6277	-24.73	1391.19	1415.92	0.0945	6.4396
-40.00	0.7169	0.001449	1.5533	19.17	1407.76	1388.59	0.2867	6.2425
-38.00	0.7971	0.001454	1.4068	28.01	1410.96	1382.95	0.3245	6.2056
-36.00	0.8845	0.001459	1.2765	36.88	1414.11	1377.23	0.3619	6.1694
-34.00	0.9795	0.001465	1.1604	45.77	1417.23	1371.46	0.3992	6.1339
-33.33	1.0133	0.001466	1.1242	48.76	1418.26	1369.5	0.4117	6.1221
-32.00	1.0826	0.00147	1.0567	54.67	1420.29	1365.62	0.4362	6.0992
-30.00	1.1943	0.001475	0.96396	63.6	1423.31	1359.71	0.473	6.0651
-28.00	1.3151	0.001481	0.88082	72.55	1426.28	1353.73	0.5096	6.0317
-26.00	1.4457	0.001486	0.80614	81.52	1429.21	1347.69	0.546	5.9989
-24.00	1.5864	0.001492	0.73896	90.51	1432.08	1341.57	0.5821	5.9667
-22.00	1.7379	0.001498	0.6784	99.52	1434.91	1335.39	0.618	5.9351
-20.00	1.9008	0.001504	0.62373	108.55	1437.68	1329.13	0.6538	5.9041
-18.00	2.0756	0.001509	0.57428	117.6	1440.39	1322.79	0.6893	5.8736
-16.00	2.263	0.001515	0.52949	126.67	1443.06	1316.39	0.7246	5.8437
-14.00	2.4637	0.001521	0.48885	135.76	1445.66	1309.9	0.7597	5.8143
-12.00	2.6782	0.001527	0.45192	144.88	1448.21	1303.33	0.7946	5.7853
-10.00	2.9071	0.001534	0.4183	154.01	1450.7	1296.69	0.8293	5.7569
-8.00	3.1513	0.00154	0.38767	163.16	1453.14	1289.98	0.8638	5.7289
-6.00	3.4114	0.001546	0.3597	172.34	1455.51	1283.17	0.8981	5.7013
-4.00	3.688	0.001553	0.33414	181.54	1457.81	1276.27	0.9323	5.6741
-2.00	3.9819	0.001559	0.31074	190.76	1460.06	1269.3	0.9662	5.6474
0.00	4.2938	0.001566	0.2893	200	1462.24	1262.24	1	5.621
2.00	4.6246	0.001573	0.26962	209.27	1464.35	1255.08	1.0336	5.5951
4.00	4.9748	0.00158	0.25153	218.55	1466.4	1247.85	1.067	5.5695
6.00	5.3453	0.001587	0.23489	227.87	1468.37	1240.5	1.1003	5.5442
8.00	5.737	0.001594	0.21956	237.2	1470.28	1233.08	1.1334	5.5192
10.00	6.1505	0.001601	0.20543	246.57	1472.11	1225.54	1.1664	5.4946
12.00	6.5866	0.001608	0.19237	255.95	1473.88	1217.93	1.1992	5.4703
14.00	7.0463	0.001616	0.18031	265.37	1475.56	1210.19	1.2318	5.4463
16.00	7.5303	0.001623	0.16914	274.81	1477.17	1202.36	1.2643	5.4226
18.00	8.0395	0.001631	0.15879	284.28	1478.7	1194.42	1.2967	5.3991
20.00	8.5748	0.001639	0.1492	293.78	1480.16	1186.38	1.3289	5.3759
22.00	9.1369	0.001647	0.14029	303.31	1481.53	1178.22	1.361	5.3529
24.00	9.7268	0.001655	0.13201	312.87	1482.82	1169.95	1.3929	5.3301

26.00	10.345	0.001663	0.12431	322.47	1484.02	1161.55	1.4248	5.3076
28.00	10.993	0.001672	0.11714	332.09	1485.14	1153.05	1.4565	5.2853
30.00	11.672	0.00168	0.11046	341.76	1486.17	1144.41	1.4881	5.2631
32.00	12.382	0.001689	0.10422	351.45	1487.11	1135.66	1.5196	5.2412
34.00	13.124	0.001698	0.0984	361.19	1487.95	1126.76	1.5509	5.2194
36.00	13.900	0.001707	0.09296	370.96	1488.7	1117.74	1.5822	5.1978
38.00	14.709	0.001716	0.08787	380.78	1489.36	1108.58	1.6134	5.1763
40.00	15.554	0.001726	0.0831	390.64	1489.91	1099.27	1.6446	5.1549
42.00	16.435	0.001736	0.07863	400.54	1490.36	1089.82	1.6756	5.1337
44.00	17.353	0.001746	0.07445	410.48	1490.7	1080.22	1.7065	5.1126
46.00	18.310	0.001756	0.07052	420.48	1490.94	1070.46	1.7374	5.0915
48.00	19.305	0.001766	0.06682	430.52	1491.06	1060.54	1.7683	5.0706
50.00	20.340	0.001777	0.06335	440.62	1491.07	1050.45	1.799	5.0497
55.00	23.111	0.001804	0.05554	466.1	1490.57	1024.47	1.8758	4.9977
60.00	26.156	0.001834	0.0488	491.97	1489.27	997.3	1.9523	4.9458
65.00	29.491	0.001866	0.04296	518.26	1487.09	968.83	2.0288	4.8939
70.00	33.135	0.0019	0.03787	545.04	1483.94	938.9	2.1054	4.8415
75.00	37.105	0.001937	0.03342	572.37	1479.72	907.35	2.1823	4.7885
80.00	41.420	0.001977	0.02951	600.34	1474.31	873.97	2.2596	4.7344
85.00	46.100	0.002022	0.02606	629.04	1467.53	838.49	2.3377	4.6789
90.00	51.167	0.002071	0.023	658.61	1459.19	800.58	2.4168	4.6213
95.00	56.643	0.002127	0.02027	689.19	1449.01	759.82	2.4973	4.5612
100.00	62.553	0.00219	0.01782	721	1436.63	715.63	2.5797	4.4975
105.00	68.923	0.002263	0.01561	754.35	1421.57	667.22	2.6647	4.4291
110.00	75.783	0.00235	0.0136	789.68	1403.08	613.4	2.7533	4.3542
115.00	83.170	0.002456	0.01174	827.74	1379.99	552.25	2.8474	4.2702
120.00	91.125	0.002594	0.00999	869.92	1350.23	480.31	2.9502	4.1719
125.00	99.700	0.002795	0.00828	919.68	1309.12	389.44	3.0702	4.0483
130.00	108.977	0.003202	0.00638	992.02	1239.32	247.3	3.2437	3.8571
132.25	113.33	0.004444	0.00444	1119.22	1119.22	0	3.5542	3.5542

**الجدول 7: الخواص الترموديناميكية للفرئون R11 على خطي التكاثف والغليان
حسب درجة الحرارة**

t [°C]	p [bar]	v' [m ³ /kg]	v'' [m ³ /kg]	i' [kJ/kg]	i'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kgK]	s'' [kJ/kgK]
-110.47	0.0001	0.000565	1512.65	108.17	336.88	228.71	0.5694	1.9753
-110	0.0001	0.000566	1419.37	109.81	337.07	227.26	0.5795	1.9725
-100	0.0003	0.000572	402.55	117.55	341.36	223.81	0.6255	1.9181
-90	0.0008	0.000579	133.79	125.42	345.77	220.35	0.6697	1.8728
-80	0.0023	0.000586	50.774	133.41	350.31	216.9	0.7122	1.8351
-70	0.0057	0.000593	21.548	141.50	354.96	213.46	0.753	1.8037
-60	0.0128	0.000601	10.055	149.66	359.71	210.05	0.7922	1.7777
-50	0.0265	0.000609	5.0875	157.89	364.56	206.67	0.8299	1.7561
-40	0.0509	0.000617	2.7595	166.19	369.48	203.29	0.8663	1.7382
-30	0.0919	0.000625	1.5892	177.54	374.48	196.94	0.9014	1.7236
-20	0.1573	0.000634	0.96383	182.96	379.53	196.57	0.9353	1.7118
-10	0.2567	0.000642	0.61141	191.44	384.64	193.2	0.9681	1.7023
0	0.402	0.000652	0.40328	200.00	389.77	189.77	1	1.6947
2	0.4377	0.000654	0.37264	201.72	390.8	189.08	1.0063	1.6935
4	0.4759	0.000656	0.34479	203.44	391.83	188.39	1.0125	1.6922
6	0.5167	0.000658	0.31943	205.17	392.86	187.69	1.0187	1.6911
8	0.5603	0.00066	0.29630	206.90	393.89	186.99	1.0249	1.6900
10	0.6068	0.000662	0.27518	208.64	394.92	186.28	1.031	1.6889
12	0.6562	0.000664	0.25587	210.38	395.95	185.57	1.0371	1.6879
14	0.7088	0.000666	0.23819	212.12	396.99	184.87	1.0432	1.6870
16	0.7647	0.000668	0.22198	213.86	398.02	184.16	1.0492	1.6861
18	0.824	0.00067	0.20710	215.61	399.05	183.44	1.0552	1.6853
20	0.8868	0.000672	0.19342	217.36	400.08	182.72	1.0612	1.6845
22	0.9534	0.000674	0.18083	219.12	401.1	181.98	1.0672	1.6838
23.71	1.0132	0.000676	0.17086	220.62	401.98	181.36	1.0722	1.6832
24	1.0238	0.000676	0.16922	220.88	402.13	181.25	1.0731	1.6831

26	1.0982	0.000678	0.15852	222.64	403.16	180.52	1.079	1.6824
28	1.1767	0.000681	0.14864	224.41	404.18	179.77	1.0849	1.6818
30	1.2596	0.000683	0.13950	226.19	405.21	179.02	1.0907	1.6813
32	1.347	0.000685	0.13104	227.96	406.23	178.27	1.0965	1.6807
34	1.4389	0.000687	0.12320	229.74	407.25	177.51	1.1023	1.6803
36	1.5357	0.00069	0.11593	231.53	408.27	176.74	1.1081	1.6798
38	1.6374	0.000692	0.10918	233.32	409.28	175.96	1.1139	1.6794
40	1.7443	0.000694	0.10290	235.11	410.3	175.19	1.1196	1.6790
42	1.8564	0.000697	0.09706	236.91	411.31	174.4	1.1253	1.6787
44	1.974	0.000699	0.09162	238.71	412.31	173.6	1.131	1.6784
46	2.0973	0.000702	0.08656	240.52	413.32	172.8	1.1366	1.6781
48	2.2263	0.000704	0.8183	242.33	414.32	171.99	1.1423	1.6778
50	2.3614	0.000707	0.07741	244.15	415.32	171.17	1.1479	1.6776
55	2.7264	0.000713	0.06758	248.16	417.8	169.64	1.1618	1.6771
60	3.1329	0.00072	0.05924	253.32	420.25	166.93	1.1756	1.6767
65	3.5837	0.000727	0.05212	257.95	422.68	164.73	1.1893	1.6765
70	4.0818	0.000734	0.04601	262.62	425.08	162.46	1.203	1.6764
75	4.6303	0.000741	0.04075	267.33	427.44	160.11	1.2165	1.6763
80	5.2323	0.000749	0.03620	272.08	429.76	157.68	1.2299	1.6764
85	5.8909	0.000757	0.03224	276.87	432.04	155.17	1.2432	1.6764
90	6.6094	0.000766	0.02879	281.70	434.27	152.57	1.2564	1.6766
95	7.391	0.000775	0.02577	286.58	436.45	149.87	1.2696	1.6767
100	8.239	0.000784	0.02312	291.50	438.57	147.07	1.2827	1.6769
105	9.1568	0.000794	0.02078	296.48	440.63	144.15	1.2958	1.6770
110	10.148	0.000804	0.01870	301.51	442.63	141.12	1.3088	1.6771
115	11.216	0.000815	0.01686	306.60	444.56	137.96	1.3218	1.6772
120	12.364	0.000826	0.01522	311.75	446.4	134.65	1.3347	1.6772
125	13.596	0.000839	0.01376	316.98	448.16	131.18	1.3477	1.6771
130	14.916	0.000852	0.01244	322.27	449.82	127.55	1.3606	1.6770
135	16.327	0.000866	0.01126	327.64	451.38	123.74	1.3735	1.6767
140	17.834	0.000881	0.01019	333.10	452.81	119.71	1.3865	1.6763
145	19.44	0.000897	0.00923	338.66	454.12	115.46	1.3995	1.6757

150	21.151	0.000915	0.00835	344.33	455.26	110.93	1.4127	1.6748
155	22.97	0.000935	0.00754	350.13	456.23	106.1	1.4259	1.6737
160	24.903	0.000957	0.00681	356.08	456.99	100.91	1.4393	1.6722
165	26.955	0.000982	0.00613	362.21	457.49	95.28	1.4529	1.6704
170	29.131	0.001011	0.00550	368.57	457.68	89.11	1.4668	1.6679
175	31.44	0.001046	0.00491	375.22	457.47	82.25	1.4812	1.6647
180	33.888	0.001088	0.00435	382.27	456.71	74.44	1.4963	1.6605
185	36.487	0.001142	0.00380	389.90	455.15	65.25	1.5124	1.6548
190	39.25	0.001219	0.00325	398.49	452.24	53.75	1.5303	1.6464
195	42.205	0.001348	0.00263	409.20	446.13	36.93	1.5525	1.6314
197.96	44.076	0.00181	0.00181	428.64	428.64	0	1.5933	1.5933



**الجدول 8: الخواص الترموديناميكية للفرئون R12 على خطي التكاثف والغليان
حسب درجة الحرارة**

t [°C]	p [bar]	v' [m ³ /kg]	v'' [m ³ /kg]	i' [kJ/kg]	i'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kgK]	s'' [kJ/kgK]
-100.00	0.0119	0.000596	10.0040	113.32	306.09	192.77	0.6077	1.7210
-90.00	0.0286	0.000605	4.3948	121.53	310.59	189.06	0.6538	1.6861
-80.00	0.0619	0.000615	2.1355	129.81	315.19	185.38	0.6978	1.6576
-70.00	0.1228	0.000625	1.1286	138.17	319.87	181.7	0.7400	1.6344
-60.00	0.2261	0.000636	0.63992	146.62	324.61	177.99	0.7806	1.6156
-50.00	0.3911	0.000647	0.38494	155.18	329.39	174.21	0.8197	1.6004
-40.00	0.6409	0.000659	0.24342	163.86	334.18	170.32	0.8577	1.5882
-30.00	1.0026	0.000672	0.16057	172.67	338.94	166.27	0.8946	1.5784
-29.75	1.0133	0.000672	0.15900	172.89	339.06	166.17	0.8955	1.5782
-28.00	1.091	0.000675	0.14841	174.44	339.89	165.45	0.9019	1.5767
-26.00	1.1854	0.000678	0.13736	176.23	340.83	164.6	0.9091	1.5751
-24.00	1.286	0.000680	0.12731	178.02	341.78	163.76	0.9163	1.5735
-22.00	1.3931	0.000683	0.11815	179.81	342.72	162.91	0.9234	1.5720
-20.00	1.507	0.000686	0.10978	181.62	343.65	162.03	0.9305	1.5706
-18.00	1.6279	0.000689	0.10213	183.42	344.59	161.17	0.9376	1.5693
-16.00	1.7562	0.000692	0.09512	185.24	345.52	160.28	0.9447	1.5680
-14.00	1.892	0.000694	0.08870	187.06	346.44	159.38	0.9517	1.5667
-12.00	2.0358	0.000697	0.08280	188.89	347.37	158.48	0.9587	1.5655
-10.00	2.1878	0.000700	0.07737	190.72	348.29	157.57	0.9656	1.5644
-8.00	2.3483	0.000704	0.07237	192.56	349.20	156.64	0.9726	1.5633
-6.00	2.5176	0.000707	0.06777	194.41	350.11	155.7	0.9795	1.5623
-4.00	2.696	0.000710	0.06352	196.27	351.01	154.74	0.9863	1.5613
-2.00	2.8839	0.000713	0.05959	198.13	351.91	153.78	0.9932	1.5603
0.00	3.0815	0.000716	0.05595	200.00	352.81	152.81	1.0000	1.5594
2.00	3.2891	0.000720	0.05258	201.88	353.69	151.81	1.0068	1.5586
4.00	3.5071	0.000723	0.04946	203.76	354.57	150.81	1.0136	1.5577
6.00	3.7358	0.000726	0.04656	205.65	355.45	149.8	1.0203	1.5569
8.00	3.9756	0.000730	0.04386	207.56	356.32	148.76	1.0270	1.5561
10.00	4.2267	0.000734	0.04135	209.46	357.18	147.72	1.0337	1.5554
12.00	4.4895	0.000737	0.03901	211.38	358.03	146.65	1.0404	1.5547
14.00	4.7643	0.000741	0.03683	213.31	358.88	145.57	1.0471	1.5540
16.00	5.0514	0.000745	0.03480	215.24	359.71	144.47	1.0537	1.5533
18.00	5.3513	0.000749	0.03290	217.18	360.54	143.36	1.0603	1.5527
20.00	5.6642	0.000753	0.03112	219.14	361.36	142.22	1.0669	1.5521
22.00	5.9905	0.000757	0.02946	221.10	362.17	141.07	1.0735	1.5515
24.00	6.3305	0.000761	0.02790	223.07	362.97	139.9	1.0801	1.5509
26.00	6.6846	0.000765	0.02643	225.05	363.76	138.71	1.0866	1.5503
28.00	7.0531	0.000769	0.02506	227.04	364.54	137.5	1.0932	1.5498

30.00	7.4365	0.000774	0.02377	229.04	365.31	136.27	1.0997	1.5492
32.00	7.835	0.000778	0.02256	231.06	366.07	135.01	1.1062	1.5487
34.00	8.2491	0.000783	0.02142	233.08	366.81	133.73	1.1127	1.5481
36.00	8.6791	0.000787	0.02034	235.12	367.54	132.42	1.1192	1.5476
38.00	9.1253	0.000792	0.01933	237.16	368.26	131.1	1.1257	1.5470
40.00	9.5882	0.000797	0.01838	239.22	368.96	129.74	1.1322	1.5465
42.00	10.068	0.000802	0.01748	241.29	369.65	128.36	1.1387	1.5459
44.00	10.566	0.000808	0.01662	243.38	370.33	126.95	1.1451	1.5454
46.00	11.081	0.000813	0.01582	245.47	370.98	125.51	1.1516	1.5448
48.00	11.614	0.000819	0.01505	247.59	371.62	124.03	1.1580	1.5443
50.00	12.166	0.000824	0.01433	249.71	372.24	122.53	1.1645	1.5437
52.00	12.737	0.000830	0.01365	251.85	372.85	121	1.1710	1.5431
54.00	13.327	0.000836	0.01300	254.01	373.43	119.42	1.1774	1.5425
56.00	13.938	0.000843	0.01238	256.18	373.99	117.81	1.1839	1.5418
58.00	14.568	0.000849	0.01180	258.38	374.53	116.15	1.1904	1.5411
60.00	15.219	0.000856	0.01124	260.58	375.05	114.47	1.1969	1.5404
62.00	15.892	0.000863	0.01071	262.81	375.54	112.73	1.2033	1.5397
64.00	16.586	0.000870	0.01021	265.06	376.00	110.94	1.2099	1.5389
66.00	17.302	0.000878	0.00973	267.33	376.44	109.11	1.2164	1.5381
68.00	18.041	0.000886	0.00927	269.62	376.84	107.22	1.2229	1.5372
70.00	18.802	0.000894	0.00883	271.94	377.22	105.28	1.2295	1.5363
75.00	20.811	0.000917	0.00782	277.84	377.99	100.15	1.2461	1.5337
80.00	22.975	0.000942	0.00691	283.94	378.48	94.54	1.2629	1.5306
85.00	25.304	0.000972	0.00608	290.27	378.64	88.37	1.2801	1.5268
90.00	27.808	0.001007	0.00533	296.91	378.35	81.44	1.2978	1.5220
95.00	30.501	0.001050	0.00463	303.95	377.45	73.5	1.3163	1.5159
100.00	33.399	0.001106	0.00396	311.58	375.60	64.02	1.3360	1.5076
105.00	36.525	0.001187	0.00330	320.24	372.08	51.84	1.3581	1.4952
110.00	39.924	0.001346	0.00252	331.82	363.95	32.13	1.3874	1.4712
111.97	41.361	0.00177	0.00177	347.76	347.76	0	1.4283	1.4283

الجدول 9: الخواص الترموديناميكية للفرين R13 على خطي التكاثف والغليان
حسب درجة الحرارة

t [°C]	p [bar]	v' [m ³ /kg]	v'' [m ³ /kg]	i' [kJ/kg]	i'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kgK]	s'' [kJ/kgK]
-100.00	0.3311	0.000629	0.40825	100.48	258.53	158.05	0.5583	1.4711
-98.00	0.3784	0.000632	0.36061	102.15	259.37	157.22	0.5679	1.4655
-96.00	0.431	0.000635	0.31954	103.84	260.20	156.36	0.5775	1.4601
-94.00	0.4892	0.000637	0.28400	105.54	261.04	155.5	0.5870	1.4550
-92.00	0.5536	0.000640	0.25314	107.25	261.87	154.62	0.5965	1.4500
-90.00	0.6246	0.000644	0.22627	108.97	262.69	153.72	0.6059	1.4452
-88.00	0.7026	0.000647	0.20279	110.71	263.51	152.8	0.6153	1.4406
-86.00	0.7881	0.000650	0.18221	112.46	264.33	151.87	0.6247	1.4362
-84.00	0.8815	0.000653	0.16412	114.23	265.14	150.91	0.6340	1.4319
-82.00	0.9835	0.000656	0.14818	116.00	265.95	149.95	0.6433	1.4278
-81.45	1.0132	0.000657	0.14410	116.50	266.17	149.67	0.6459	1.4267
-80.00	1.0944	0.000660	0.13409	117.79	266.75	148.96	0.6526	1.4238
-78.00	1.2148	0.000663	0.12160	119.59	267.55	147.96	0.6619	1.4200
-76.00	1.3453	0.000667	0.11051	121.41	268.34	146.93	0.6711	1.4163
-74.00	1.4864	0.000670	0.10063	123.24	269.12	145.88	0.6802	1.4128
-72.00	1.6386	0.000674	0.09182	125.08	269.89	144.81	0.6894	1.4093
-70.00	1.8025	0.000677	0.08393	126.93	270.66	143.73	0.6985	1.4060
-68.00	1.9787	0.000681	0.07686	128.80	271.42	142.62	0.7076	1.4028
-66.00	2.1678	0.000685	0.07050	130.68	272.17	141.49	0.7166	1.3997
-64.00	2.3703	0.000689	0.06477	132.57	272.91	140.34	0.7256	1.3967
-62.00	2.5868	0.000693	0.05961	134.47	273.64	139.17	0.7346	1.3938
-60.00	2.818	0.000697	0.05494	136.38	274.37	137.99	0.7436	1.3909
-58.00	3.0644	0.000701	0.05071	138.31	275.08	136.77	0.7525	1.3882
-56.00	3.3266	0.000705	0.04687	140.25	275.78	135.53	0.7614	1.3855
-54.00	3.6054	0.000709	0.04338	142.20	276.47	134.27	0.7702	1.3829
-52.00	3.9012	0.000714	0.04020	144.17	277.15	132.98	0.7791	1.3804
-50.00	4.2147	0.000718	0.03730	146.14	277.81	131.67	0.7879	1.3779
-48.00	4.5465	0.000723	0.03465	148.13	278.47	130.34	0.7966	1.3755
-46.00	4.8973	0.000727	0.03223	150.13	279.11	128.98	0.8053	1.3732
-44.00	5.2677	0.000732	0.03001	152.14	279.73	127.59	0.8140	1.3708
-42.00	5.6584	0.000737	0.02797	154.16	280.35	126.19	0.8227	1.3686
-40.00	6.0699	0.000742	0.02609	156.19	280.94	124.75	0.8313	1.3664
-38.00	6.503	0.000748	0.02436	158.24	281.53	123.29	0.8399	1.3642
-36.00	6.9583	0.000753	0.02277	160.30	282.09	121.79	0.8485	1.3621
-34.00	7.4364	0.000759	0.02130	162.37	282.64	120.27	0.8570	1.3600
-32.00	7.938	0.000764	0.01994	164.45	283.17	118.72	0.8656	1.3579
-30.00	8.4637	0.000770	0.01868	166.55	283.69	117.14	0.8740	1.3558
-28.00	9.0143	0.000776	0.01751	168.66	284.18	115.52	0.8825	1.3538

-26.00	9.5904	0.000783	0.01642	170.78	284.66	113.88	0.8910	1.3517
-24.00	10.193	0.000789	0.01542	172.92	285.11	112.19	0.8994	1.3497
-22.00	10.822	0.000796	0.01448	175.07	285.54	110.47	0.9078	1.3476
-20.00	11.479	0.000803	0.01361	177.24	285.95	108.71	0.9162	1.3456
-18.00	12.164	0.000810	0.01279	179.42	286.33	106.91	0.9245	1.3435
-16.00	12.878	0.000818	0.01203	181.62	286.68	105.06	0.9329	1.3415
-14.00	13.622	0.000826	0.01132	183.84	287.01	103.17	0.9413	1.3394
-12.00	14.396	0.000834	0.01065	186.08	287.31	101.23	0.9496	1.3372
-10.00	15.202	0.000843	0.01002	188.34	287.57	99.23	0.9580	1.3351
-8.00	16.04	0.000852	0.00943	190.62	287.80	97.18	0.9663	1.3329
-6.00	16.911	0.000862	0.00888	192.92	287.99	95.07	0.9747	1.3306
-4.00	17.815	0.000872	0.00836	195.25	288.14	92.89	0.9831	1.3282
-2.00	18.754	0.000883	0.00787	197.61	288.25	90.64	0.9915	1.3258
0.00	19.729	0.000894	0.00740	200.00	288.31	88.31	1.0000	1.3233
2.00	20.741	0.000906	0.00697	202.43	288.31	85.88	1.0085	1.3207
4.00	21.79	0.000919	0.00655	204.90	288.25	83.35	1.0171	1.3179
6.00	22.878	0.000933	0.00615	207.41	288.12	80.71	1.0258	1.3149
8.00	24.006	0.000948	0.00578	209.98	287.92	77.94	1.0346	1.3118
10.00	25.176	0.000965	0.00541	212.61	287.63	75.02	1.0435	1.3084
12.00	26.389	0.000984	0.00507	215.32	287.23	71.91	1.0526	1.3048
14.00	27.646	0.001004	0.00474	218.12	286.70	68.58	1.0620	1.3008
16.00	28.95	0.001027	0.00441	221.03	286.02	64.99	1.0716	1.2964
18.00	30.303	0.001054	0.00410	224.09	285.15	61.06	1.0817	1.2914
20.00	31.708	0.001085	0.00379	227.35	284.02	56.67	1.0923	1.2856
22.00	33.168	0.001124	0.00347	230.89	282.53	51.64	1.1038	1.2788
24.00	34.69	0.001173	0.00315	234.87	280.49	45.62	1.1167	1.2702
26.00	36.28	0.001245	0.00279	239.69	277.42	37.73	1.1322	1.2583
28.00	37.955	0.001383	0.00232	247.01	271.42	24.41	1.1558	1.2369
28.85	38.7	0.001731	0.00173	259.17	259.17	0	1.1958	1.1958



الجدول 10: الخواص الترموديناميكية للفرينون R22 على خطي التكاثف والغليان

حسب درجة الحرارة

t [°C]	p [bar]	v' [m ³ /kg]	v'' [m ³ /kg]	i' [kJ/kg]	i'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kgK]	s'' [kJ/kgK]
-100.00	0.0201	0.000636	8.26600	90.71	358.97	268.26	0.5050	2.0543
-90.00	0.0481	0.000647	3.64480	101.32	363.85	262.53	0.5646	1.9980
-80.00	0.1037	0.000659	1.77820	111.94	368.77	256.83	0.6210	1.9508
-70.00	0.2047	0.000671	0.94342	122.58	373.70	251.12	0.6747	1.9108
-60.00	0.375	0.000683	0.53680	133.27	378.59	245.32	0.7260	1.8770
-50.00	0.6453	0.000697	0.32385	144.03	383.42	239.39	0.7752	1.8480
-48.00	0.7145	0.000699	0.29453	146.19	384.37	238.18	0.7849	1.8428
-46.00	0.7894	0.000702	0.26837	148.36	385.32	236.96	0.7944	1.8376
-44.00	0.8705	0.000705	0.24498	150.53	386.26	235.73	0.8039	1.8327
-42.00	0.958	0.000708	0.22402	152.70	387.20	234.5	0.8134	1.8278
-40.81	1.0132	0.000710	0.21260	154.00	387.75	233.75	0.8189	1.8250
-40.00	1.0523	0.000711	0.20521	154.89	388.13	233.24	0.8227	1.8231
-38.00	1.1538	0.000714	0.18829	157.07	389.06	231.99	0.8320	1.8186
-36.00	1.2628	0.000717	0.17304	159.27	389.97	230.7	0.8413	1.8141
-34.00	1.3797	0.000720	0.15927	161.47	390.89	229.42	0.8505	1.8098
-32.00	1.505	0.000723	0.14682	163.67	391.79	228.12	0.8596	1.8056
-30.00	1.6389	0.000726	0.13553	165.88	392.69	226.81	0.8687	1.8015
-28.00	1.7819	0.000729	0.12528	168.10	393.58	225.48	0.8778	1.7975
-26.00	1.9344	0.000733	0.11597	170.33	394.47	224.14	0.8868	1.7937
-24.00	2.0968	0.000736	0.10749	172.56	395.34	222.78	0.8957	1.7899
-22.00	2.2696	0.000739	0.09975	174.80	396.21	221.41	0.9046	1.7862
-20.00	2.4531	0.000743	0.09268	177.04	397.06	220.02	0.9135	1.7826
-18.00	2.6479	0.000746	0.08621	179.30	397.91	218.61	0.9223	1.7791
-16.00	2.8543	0.000750	0.08029	181.56	398.75	217.19	0.9311	1.7757
-14.00	3.0728	0.000753	0.07485	183.83	399.57	215.74	0.9398	1.7723
-12.00	3.3038	0.000757	0.06986	186.11	400.39	214.28	0.9485	1.7690
-10.00	3.5479	0.000761	0.06527	188.40	401.20	212.8	0.9572	1.7658
-8.00	3.8054	0.000764	0.06103	190.70	401.99	211.29	0.9658	1.7627
-6.00	4.0769	0.000768	0.05713	193.01	402.77	209.76	0.9744	1.7596
-4.00	4.3628	0.000772	0.05352	195.33	403.55	208.22	0.9830	1.7566
-2.00	4.6636	0.000776	0.05019	197.66	404.30	206.64	0.9915	1.7536
0.00	4.9799	0.000780	0.04710	200.00	405.05	205.05	1.0000	1.7507
2.00	5.312	0.000784	0.04424	202.35	405.78	203.43	1.0085	1.7478
4.00	5.6605	0.000789	0.04159	204.71	406.50	201.79	1.0169	1.7450
6.00	6.0259	0.000793	0.03913	207.09	407.20	200.11	1.0254	1.7422
8.00	6.4088	0.000798	0.03683	209.47	407.89	198.42	1.0338	1.7395
10.00	6.8095	0.000802	0.03470	211.87	408.56	196.69	1.0422	1.7368
12.00	7.2286	0.000807	0.03271	214.28	409.21	194.93	1.0505	1.7341

14.00	7.6668	0.000812	0.03086	216.70	409.85	193.15	1.0589	1.7315
16.00	8.1244	0.000816	0.02912	219.14	410.47	191.33	1.0672	1.7289
18.00	8.602	0.000821	0.02750	221.59	411.07	189.48	1.0755	1.7263
20.00	9.1002	0.000827	0.02599	224.06	411.66	187.6	1.0838	1.7238
22.00	9.6195	0.000832	0.02457	226.54	412.22	185.68	1.0921	1.7212
24.00	10.16	0.000837	0.02324	229.04	412.77	183.73	1.1004	1.7187
26.00	10.724	0.000843	0.02199	231.55	413.29	181.74	1.1086	1.7162
28.00	11.309	0.000848	0.02082	234.08	413.79	179.71	1.1169	1.7136
30.00	11.919	0.000854	0.01972	236.62	414.26	177.64	1.1252	1.7111
32.00	12.552	0.000860	0.01869	239.19	414.71	175.52	1.1334	1.7086
34.00	13.21	0.000866	0.01771	241.77	415.14	173.37	1.1417	1.7061
36.00	13.892	0.000873	0.01679	244.38	415.54	171.16	1.1499	1.7036
38.00	14.601	0.000879	0.01593	247.00	415.91	168.91	1.1582	1.7010
40.00	15.336	0.000886	0.01511	249.65	416.25	166.6	1.1665	1.6985
42.00	16.098	0.000893	0.01433	252.32	416.55	164.23	1.1747	1.6959
44.00	16.887	0.000900	0.01360	255.01	416.83	161.82	1.1830	1.6933
46.00	17.704	0.000908	0.01291	257.73	417.07	159.34	1.1913	1.6906
48.00	18.551	0.000916	0.01226	260.47	417.27	156.8	1.1997	1.6879
50.00	19.427	0.000924	0.01163	263.25	417.44	154.19	1.2080	1.6852
52.00	20.333	0.000932	0.01104	266.05	417.56	151.51	1.2164	1.6824
54.00	21.27	0.000941	0.01048	268.89	417.63	148.74	1.2248	1.6795
56.00	22.239	0.000951	0.00995	271.76	417.66	145.9	1.2333	1.6766
58.00	23.24	0.000960	0.00944	274.66	417.63	142.97	1.2418	1.6736
60.00	24.275	0.000970	0.00896	277.61	417.55	139.94	1.2504	1.6705
65.00	27.012	0.000999	0.00785	285.18	417.06	131.88	1.2722	1.6622
70.00	29.974	0.001031	0.00685	293.10	416.09	122.99	1.2945	1.6529
75.00	33.177	0.001070	0.00595	301.46	414.49	113.03	1.3177	1.6424
80.00	36.638	0.001119	0.00512	310.44	412.01	101.57	1.3423	1.6299
85.00	40.378	0.001184	0.00434	320.38	408.19	87.81	1.3690	1.6142
90.00	44.423	0.001282	0.00356	332.09	401.87	69.78	1.4001	1.5922
95.00	48.824	0.001509	0.00262	349.56	387.28	37.72	1.4462	1.5486
96.15	49.900	0.001910	0.00191	366.90	366.90	0	1.4927	1.4927

الجدول 11: الخواص الترموديناميكية للفرين R113 على خطي التكاثف

والغليان حسب درجة الحرارة

t [°C]	p [bar]	v' [m ³ /kg]	v'' [m ³ /kg]	i' [kJ/kg]	i'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kgK]	s'' [kJ/kgK]
-30.00	0.0286	0.000593	3.7614	173.90	339.42	165.52	0.8989	1.5796
-25.00	0.0389	0.000597	2.8148	178.14	342.46	164.32	0.9161	1.5783
-20.00	0.0523	0.000601	2.1351	182.43	345.53	163.1	0.9332	1.5775
-15.00	0.0694	0.000605	1.6401	186.76	348.62	161.86	0.9502	1.5772
-10.00	0.0908	0.000609	1.2748	191.13	351.72	160.59	0.9669	1.5772
-8.00	0.1008	0.000611	1.1562	192.89	352.97	160.08	0.9736	1.5773
-6.00	0.1117	0.000613	1.0505	194.66	354.22	159.56	0.9802	1.5775
-4.00	0.1236	0.000614	0.95598	196.43	355.47	159.04	0.9869	1.5777
-2.00	0.1365	0.000616	0.87144	198.21	356.72	158.51	0.9934	1.5780
0.00	0.1505	0.000618	0.79563	200.00	357.97	157.97	1.0000	1.5783
2.00	0.1656	0.000619	0.72756	201.79	359.23	157.44	1.0065	1.5787
4.00	0.182	0.000621	0.66631	203.59	360.49	156.9	1.0131	1.5792
6.00	0.1997	0.000623	0.61113	205.40	361.75	156.35	1.0195	1.5796
8.00	0.2187	0.000625	0.56132	207.21	363.01	155.8	1.0260	1.5802
10.00	0.2392	0.000626	0.51630	209.03	364.28	155.25	1.0325	1.5807
12.00	0.2613	0.000628	0.47554	210.86	365.54	154.68	1.0389	1.5813
14.00	0.2849	0.000630	0.43859	212.69	366.81	154.12	1.0453	1.5820
16.00	0.3103	0.000632	0.40503	214.53	368.08	153.55	1.0516	1.5827
18.00	0.3375	0.000634	0.37452	216.37	369.35	152.98	1.0580	1.5834
20.00	0.3666	0.000636	0.34673	218.22	370.62	152.4	1.0643	1.5842
22.00	0.3976	0.000638	0.32140	220.08	371.89	151.81	1.0706	1.5850
24.00	0.4307	0.000639	0.29827	221.94	373.16	151.22	1.0769	1.5858
26.00	0.466	0.000641	0.27712	223.81	374.43	150.62	1.0832	1.5867
28.00	0.5036	0.000643	0.25776	225.69	375.71	150.02	1.0894	1.5876
30.00	0.5436	0.000645	0.24001	227.57	376.98	149.41	1.0956	1.5885
32.00	0.586	0.000647	0.22373	229.45	378.25	148.8	1.1018	1.5894
34.00	0.631	0.000649	0.20877	231.34	379.53	148.19	1.1080	1.5904
36.00	0.6788	0.000651	0.19501	233.24	380.80	147.56	1.1141	1.5914
38.00	0.7293	0.000653	0.18233	235.14	382.08	146.94	1.1203	1.5925
40.00	0.7828	0.000655	0.17064	237.05	383.35	146.3	1.1264	1.5935
42.00	0.8393	0.000658	0.15986	238.97	384.62	145.65	1.1324	1.5946
44.00	0.899	0.000660	0.14989	240.89	385.90	145.01	1.1385	1.5957
46.00	0.9619	0.000662	0.14067	242.81	387.17	144.36	1.1445	1.5969
47.56	1.0132	0.000663	0.13397	244.31	388.16	143.85	1.1492	1.5978
48.00	1.0282	0.000664	0.13214	244.74	388.44	143.7	1.1505	1.5980
50.00	1.0981	0.000666	0.12423	246.68	389.72	143.04	1.1565	1.5992
55.00	1.2889	0.000672	0.10684	251.53	392.89	141.36	1.1714	1.6022
60.00	1.5045	0.000677	0.09235	256.43	396.07	139.64	1.1862	1.6053

65.00	1.7468	0.000683	0.08018	261.35	399.23	137.88	1.2008	1.6086
70.00	2.0181	0.000689	0.06992	266.30	402.39	136.09	1.2153	1.6119
75.00	2.3204	0.000696	0.06123	271.27	405.54	134.27	1.2296	1.6152
80.00	2.6559	0.000702	0.05381	276.28	408.67	132.39	1.2438	1.6187
85.00	3.027	0.000709	0.04747	281.32	411.80	130.48	1.2579	1.6222
90.00	3.4358	0.000716	0.04201	286.38	414.90	128.52	1.2719	1.6258
95.00	3.8848	0.000723	0.03730	291.47	417.99	126.52	1.2857	1.6294
100.00	4.3764	0.000730	0.03321	296.59	421.07	124.48	1.2994	1.6330
105.00	4.9129	0.000738	0.02964	301.73	424.12	122.39	1.3130	1.6366
110.00	5.4969	0.000746	0.02653	306.91	427.14	120.23	1.3265	1.6403
115.00	6.131	0.000755	0.02379	312.12	430.14	118.02	1.3399	1.6439
120.00	6.8177	0.000764	0.02138	317.36	433.11	115.75	1.3532	1.6476
125.00	7.5598	0.000773	0.01925	322.64	436.05	113.41	1.3664	1.6512
130.00	8.36	0.000783	0.01736	327.96	438.95	110.99	1.3795	1.6548
135.00	9.2212	0.000793	0.01568	333.32	441.81	108.49	1.3925	1.6583
140.00	10.146	0.000805	0.01418	338.73	444.61	105.88	1.4055	1.6618
145.00	11.139	0.000817	0.01283	344.19	447.37	103.18	1.4184	1.6652
150.00	12.201	0.000829	0.01162	349.71	450.06	100.35	1.4314	1.6685
155.00	13.337	0.000843	0.01053	355.30	452.68	97.38	1.4443	1.6717
160.00	14.55	0.000858	0.00954	360.97	455.21	94.24	1.4572	1.6748
165.00	15.845	0.000874	0.00864	366.73	457.65	90.92	1.4701	1.6776
170.00	17.224	0.000892	0.00782	372.60	459.97	87.37	1.4832	1.6803
175.00	18.693	0.000912	0.00707	378.59	462.15	83.56	1.4963	1.6828
180.00	20.256	0.000935	0.00637	384.75	464.17	79.42	1.5096	1.6849
185.00	21.918	0.000961	0.00573	391.10	465.97	74.87	1.5232	1.6866
190.00	23.685	0.000991	0.00513	397.71	467.49	69.78	1.5371	1.6878
195.00	25.564	0.001028	0.00456	404.65	468.65	64	1.5515	1.6883
200.00	27.562	0.001076	0.00401	412.08	469.26	57.18	1.5668	1.6876
205.00	29.692	0.001141	0.00346	420.31	469.00	48.69	1.5834	1.6852
210.00	31.968	0.001250	0.00286	430.26	466.91	36.65	1.6031	1.6789
214.40	34.11	0.00175	0.00175	453.6	453.6	0	1.647	1.647

الجدول 12: الخواص الترموديناميكية للفرين R142b على خطي التكاثف

والغليان حسب درجة الحرارة

t [°C]	p [bar]	v' [m ³ /kg]	v'' [m ³ /kg]	i' [kJ/kg]	i'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kgK]	s'' [kJ/kgK]
-50.00	0.1565	0.000779	1.16772	155.64	378.81	223.17	0.8220	1.8220
-45.00	0.2045	0.000786	0.91112	159.50	382.08	222.58	0.8391	1.8147
-40.00	0.2643	0.000793	0.71849	163.48	385.38	221.9	0.8563	1.8080
-35.00	0.3379	0.000799	0.57219	167.58	388.68	221.1	0.8736	1.8021
-30.00	0.4276	0.000806	0.45988	171.80	391.99	220.19	0.8912	1.7968
-25.00	0.536	0.000814	0.37278	176.16	395.31	219.15	0.9089	1.7920
-20.00	0.666	0.000821	0.30460	180.65	398.62	217.97	0.9267	1.7878
-18.00	0.7247	0.000824	0.28154	182.48	399.94	217.46	0.9339	1.7862
-16.00	0.7875	0.000827	0.26053	184.34	401.26	216.92	0.9412	1.7847
-14.00	0.8547	0.000830	0.24136	186.22	402.58	216.36	0.9484	1.7833
-12.00	0.9264	0.000833	0.22384	188.12	403.89	215.77	0.9557	1.7819
-10.00	1.003	0.000837	0.20782	190.04	405.20	215.16	0.9630	1.7806
-9.74	1.0132	0.000837	0.20584	190.29	405.37	215.08	0.9640	1.7805
-8.00	1.0845	0.000840	0.19314	191.99	406.51	214.52	0.9704	1.7794
-6.00	1.1713	0.000843	0.17968	193.96	407.81	213.85	0.9777	1.7782
-4.00	1.2637	0.000847	0.16731	195.95	409.11	213.16	0.9851	1.7771
-2.00	1.3617	0.000850	0.15595	197.96	410.40	212.44	0.9925	1.7760
0.00	1.4658	0.000853	0.14549	200.00	411.69	211.69	1.0000	1.7750
2.00	1.5761	0.000857	0.13585	202.06	412.97	210.91	1.0075	1.7740
4.00	1.693	0.000860	0.12697	204.14	414.25	210.11	1.0150	1.7731
6.00	1.8167	0.000864	0.11876	206.25	415.51	209.26	1.0225	1.772
8.00	1.9474	0.000867	0.11117	208.38	416.77	208.39	1.0301	1.7713
10.00	2.0856	0.000871	0.10416	210.53	418.03	207.5	1.0377	1.7705
12.00	2.2313	0.000875	0.09766	212.71	419.27	206.56	1.0453	1.7697
14.00	2.385	0.000879	0.09163	214.91	420.50	205.59	1.0529	1.7689
16.00	2.547	0.000883	0.08604	217.13	421.73	204.6	1.0606	1.7682
18.00	2.7175	0.000887	0.08085	219.37	422.94	203.57	1.0682	1.7674
20.00	2.8968	0.000890	0.07603	221.63	424.14	202.51	1.0759	1.7668
22.00	3.0854	0.000895	0.07154	223.92	425.33	201.41	1.0837	1.7661
24.00	3.2833	0.000899	0.06736	226.23	426.51	200.28	1.0914	1.7654
26.00	3.4911	0.000903	0.06346	228.56	427.68	199.12	1.0992	1.7648
28.00	3.709	0.000907	0.05983	230.91	428.83	197.92	1.1069	1.7641
30.00	3.9374	0.000912	0.05643	233.28	429.96	196.68	1.1147	1.7635
32.00	4.1766	0.000916	0.05326	235.67	431.09	195.42	1.1225	1.7629
34.00	4.4269	0.000921	0.05030	238.08	432.19	194.11	1.1303	1.7623
36.00	4.6886	0.000925	0.04753	240.51	433.28	192.77	1.1381	1.7616
38.00	4.9622	0.000930	0.04493	242.96	434.36	191.4	1.1459	1.7610
40.00	5.2479	0.000935	0.04250	245.43	435.41	189.98	1.1537	1.7604

42.00	5.5461	0.000940	0.04022	247.92	436.45	188.53	1.1616	1.7598
44.00	5.8572	0.000945	0.03808	250.43	437.46	187.03	1.1694	1.7591
46.00	6.1815	0.000950	0.03607	252.95	438.46	185.51	1.1772	1.7585
48.00	6.5194	0.000956	0.03418	255.49	439.44	183.95	1.1851	1.7578
50.00	6.8713	0.000961	0.03240	258.05	440.39	182.34	1.1929	1.7572
52.00	7.2374	0.000967	0.03073	260.62	441.33	180.71	1.2007	1.7565
54.00	7.6182	0.000972	0.02916	263.21	442.24	179.03	1.2086	1.7558
56.00	8.0141	0.000978	0.02768	265.82	443.12	177.3	1.2164	1.7551
58.00	8.4254	0.000984	0.02628	268.44	443.98	175.54	1.2242	1.7543
60.00	8.8524	0.000991	0.02497	271.07	444.82	173.75	1.2320	1.7535
62.00	9.2956	0.000997	0.02372	273.72	445.62	171.9	1.2398	1.7527
64.00	9.7554	0.001004	0.02255	276.38	446.40	170.02	1.2476	1.7519
66.00	10.232	0.001011	0.02144	279.05	447.16	168.11	1.2553	1.7510
68.00	10.726	0.001018	0.02039	281.74	447.88	166.14	1.2631	1.7501
70.00	11.238	0.001025	0.01940	284.44	448.57	164.13	1.2708	1.7491
72.00	11.767	0.001033	0.01846	287.15	449.24	162.09	1.2786	1.7482
74.00	12.315	0.001040	0.01758	289.87	449.87	160	1.2862	1.7471
76.00	12.882	0.001049	0.01673	292.61	450.46	157.85	1.2939	1.7461
78.00	13.468	0.001057	0.01594	295.36	451.03	155.67	1.3016	1.7449
80.00	14.074	0.001066	0.01518	298.11	451.56	153.45	1.3093	1.7437
82.00	14.7	0.001075	0.01447	300.88	452.05	151.17	1.3169	1.7425
84.00	15.346	0.001084	0.01379	303.67	452.51	148.84	1.3245	1.7412
86.00	16.012	0.001094	0.01314	306.46	452.93	146.47	1.3321	1.7399
88.00	16.7	0.001105	0.01252	309.28	453.31	144.03	1.3397	1.7385
90.00	17.409	0.001116	0.01194	312.10	453.64	141.54	1.3473	1.7371
92.00	18.14	0.001127	0.01138	314.95	453.94	138.99	1.3549	1.7355
94.00	18.894	0.001139	0.01086	317.81	454.20	136.39	1.3625	1.7340
96.00	19.67	0.001152	0.01035	320.70	454.41	133.71	1.3701	1.7323
98.00	20.469	0.001165	0.00987	323.61	454.58	130.97	1.3777	1.7306
100.00	21.291	0.001179	0.00941	326.55	454.69	128.14	1.3853	1.7287
105.00	23.451	0.001219	0.00835	334.07	454.76	120.69	1.4047	1.7238
110.00	25.766	0.001266	0.00740	341.92	454.46	112.54	1.4245	1.7183
115.00	28.24	0.001323	0.00653	350.32	453.69	103.37	1.4455	1.7118
120.00	30.88	0.001396	0.00572	359.66	452.22	92.56	1.4685	1.7039
125.00	33.691	0.001495	0.00490	370.88	449.40	78.52	1.4958	1.6930

الجدول 13: الخواص الترموديناميكية للفرين R502 على خطي التكاثف

والغليان حسب درجة الحرارة

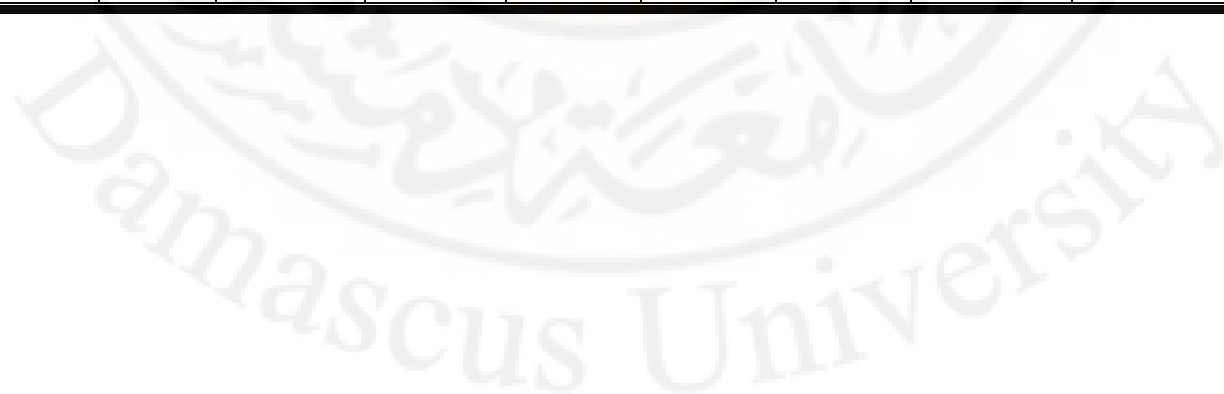
t [°C]	p [bar]	v' [m ³ /kg]	v'' [m ³ /kg]	i' [kJ/kg]	i'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kgK]	s'' [kJ/kgK]
-70.00	0.2757	0.000642	0.54045	131.58	313.03	181.45	0.7146	1.6077
-68.00	0.3104	0.000644	0.48397	133.22	314.05	180.83	0.7226	1.6040
-66.00	0.3487	0.000647	0.43440	134.87	315.06	180.19	0.7306	1.6004
-64.00	0.3907	0.000650	0.39078	136.54	316.08	179.54	0.7386	1.5970
-62.00	0.4368	0.000652	0.35231	138.23	317.10	178.87	0.7466	1.5937
-60.00	0.4872	0.000655	0.31829	139.94	318.11	178.17	0.7546	1.5905
-58.00	0.5422	0.000657	0.28814	141.67	319.12	177.45	0.7627	1.5875
-56.00	0.6021	0.000660	0.26137	143.41	320.14	176.73	0.7708	1.5846
-54.00	0.6671	0.000663	0.23753	145.18	321.15	175.97	0.7788	1.5818
-52.00	0.7377	0.000666	0.21627	146.97	322.16	175.19	0.7869	1.5791
-50.00	0.8142	0.000668	0.19726	148.77	323.16	174.39	0.7950	1.5765
-48.00	0.8969	0.000671	0.18024	150.60	324.17	173.57	0.8031	1.5741
-46.00	0.9861	0.000674	0.16496	152.44	325.17	172.73	0.8113	1.5717
-45.42	1.0132	0.000675	0.16082	152.98	325.46	172.48	0.8136	1.5710
-44.00	1.0821	0.000677	0.15123	154.30	326.17	171.87	0.8194	1.5694
-42.00	1.1854	0.000680	0.13885	156.19	327.16	170.97	0.8276	1.5672
-40.00	1.2964	0.000683	0.12769	158.09	328.15	170.06	0.8357	1.5651
-38.00	1.4153	0.000686	0.11759	160.01	329.13	169.12	0.8439	1.5631
-36.00	1.5426	0.000689	0.10845	161.95	330.12	168.17	0.8521	1.5612
-34.00	1.6786	0.000692	0.10016	163.91	331.09	167.18	0.8603	1.5593
-32.00	1.8239	0.000696	0.09262	165.89	332.06	166.17	0.8685	1.5575
-30.00	1.9786	0.000699	0.08577	167.89	333.03	165.14	0.8767	1.5558
-28.00	2.1433	0.000702	0.07952	169.90	333.99	164.09	0.8849	1.5542
-26.00	2.3184	0.000706	0.07382	171.94	334.94	163	0.8931	1.5526
-24.00	2.5043	0.000709	0.06861	173.99	335.89	161.9	0.9013	1.5511
-22.00	2.7014	0.000713	0.06384	176.06	336.83	160.77	0.9095	1.5497
-20.00	2.9101	0.000716	0.05946	178.15	337.76	159.61	0.9178	1.5483
-18.00	3.1308	0.000720	0.05545	180.26	338.69	158.43	0.9260	1.5469
-16.00	3.3641	0.000723	0.05176	182.39	339.61	157.22	0.9342	1.5456
-14.00	3.6102	0.000727	0.04836	184.53	340.52	155.99	0.9425	1.5444
-12.00	3.8697	0.000731	0.04523	186.69	341.42	154.73	0.9507	1.5432
-10.00	4.143	0.000735	0.04234	188.87	342.31	153.44	0.9589	1.5420
-8.00	4.4304	0.000739	0.03967	191.06	343.20	152.14	0.9671	1.5409
-6.00	4.7326	0.000743	0.03721	193.27	344.07	150.8	0.9754	1.5399
-4.00	5.0498	0.000747	0.03492	195.50	344.94	149.44	0.9836	1.5388
-2.00	5.3826	0.000752	0.03281	197.74	345.79	148.05	0.9918	1.5378
0.00	5.7313	0.000756	0.03084	200.00	346.63	146.63	1.0000	1.5368
2.00	6.0965	0.000761	0.02901	202.27	347.47	145.2	1.0082	1.5359

4.00	6.4786	0.000765	0.02731	204.57	348.29	143.72	1.0164	1.5350
6.00	6.8779	0.000770	0.02573	206.87	349.10	142.23	1.0246	1.5341
8.00	7.2951	0.000775	0.02426	209.19	349.89	140.7	1.0327	1.5332
10.00	7.7305	0.000780	0.02288	211.53	350.67	139.14	1.0409	1.5323
12.00	8.1845	0.000785	0.02160	213.88	351.44	137.56	1.0490	1.5315
14.00	8.6577	0.000790	0.02040	216.24	352.20	135.96	1.0572	1.5306
16.00	9.1505	0.000796	0.01927	218.62	352.94	134.32	1.0653	1.5298
18.00	9.6634	0.000801	0.01822	221.02	353.66	132.64	1.0734	1.5290
20.00	10.197	0.000807	0.01723	223.42	354.36	130.94	1.0815	1.5282
22.00	10.751	0.000813	0.01631	225.84	355.05	129.21	1.0896	1.5274
24.00	11.327	0.000819	0.01544	228.28	355.72	127.44	1.0976	1.5265
26.00	11.925	0.000825	0.01462	230.73	356.38	125.65	1.1057	1.5257
28.00	12.545	0.000832	0.01385	233.19	357.01	123.82	1.1137	1.5249
30.00	13.189	0.000839	0.01312	235.67	357.62	121.95	1.1217	1.5240
32.00	13.856	0.000846	0.01244	238.16	358.20	120.04	1.1297	1.5231
34.00	14.547	0.000853	0.01179	240.66	358.76	118.1	1.1377	1.5222
36.00	15.262	0.000860	0.01118	243.18	359.30	116.12	1.1457	1.5213
38.00	16.003	0.000868	0.01060	245.72	359.81	114.09	1.1537	1.5204
40.00	16.77	0.000877	0.01005	248.27	360.28	112.01	1.1617	1.5194
42.00	17.563	0.000885	0.00953	250.84	360.73	109.89	1.1696	1.5183
44.00	18.383	0.000894	0.00904	253.43	361.14	107.71	1.1776	1.5172
46.00	19.231	0.000904	0.00857	256.04	361.51	105.47	1.1855	1.5160
48.00	20.107	0.000914	0.00813	258.66	361.85	103.19	1.1935	1.5148
50.00	21.013	0.000925	0.00770	261.32	362.13	100.81	1.2015	1.5134
52.00	21.949	0.000936	0.00730	263.99	362.37	98.38	1.2094	1.5120
54.00	22.916	0.000948	0.00691	266.70	362.55	95.85	1.2175	1.5105
56.00	23.915	0.000961	0.00654	269.44	362.67	93.23	1.2255	1.5088
58.00	24.947	0.000975	0.00618	272.22	362.72	90.5	1.2336	1.5069
60.00	26.014	0.000990	0.00584	275.05	362.70	87.65	1.2418	1.5049
65.00	28.84	0.001033	0.00504	282.38	362.19	79.81	1.2628	1.4988
70.00	31.917	0.001091	0.00429	290.31	360.80	70.49	1.2851	1.4905
75.00	35.284	0.001175	0.00355	299.48	357.79	58.31	1.3105	1.4780
80.00	39.004	0.001342	0.00271	312.52	350.37	37.85	1.3461	1.4533
82.20	40.75	0.001783	0.00178	332.0	332.0	0	1.399	1.399

**الجدول 14: الخواص الترموديناميكية للإيثان R170 على خطي التكاثف والغليان
حسب درجة الحرارة**

t [°C]	p [bar]	v' [m ³ /kg]	v'' [m ³ /kg]	i' [kJ/kg]	i'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kgK]	s'' [kJ/kgK]
-175.00	0.0001	0.001555	3650.1	-203.34	384.40	587.74	-1.4833	4.5049
-170.00	0.0002	0.001568	1349.5	-191.67	390.36	582.03	-1.3673	4.2752
-165.00	0.0005	0.001581	553.41	-179.91	396.38	576.29	-1.2560	4.0725
-160.00	0.0013	0.001595	248.15	-168.13	402.45	570.58	-1.1496	3.8931
-155.00	0.0027	0.001609	120.22	-156.38	408.60	564.98	-1.0479	3.7339
-150.00	0.0055	0.001624	62.310	-144.66	414.80	559.46	-0.9508	3.5921
-145.00	0.0103	0.001639	34.255	-132.97	421.05	554.02	-0.8577	3.4654
-140.00	0.0186	0.001654	19.833	-121.30	427.33	548.63	-0.7685	3.3520
-135.00	0.0318	0.001669	12.018	-109.66	433.63	543.29	-0.6826	3.2500
-130.00	0.0521	0.001685	7.5823	-98.01	439.93	537.94	-0.5998	3.1580
-125.00	0.0823	0.001702	4.9578	-86.35	446.20	532.55	-0.5198	3.0749
-120.00	0.1259	0.001719	3.3464	-74.67	452.42	527.09	-0.4423	2.9994
-115.00	0.1867	0.001736	2.3237	-62.96	458.58	521.54	-0.3671	2.9306
-110.00	0.2696	0.001754	1.6549	-51.19	464.66	515.85	-0.2940	2.8678
-105.00	0.3799	0.001773	1.2057	-39.37	470.64	510.01	-0.2227	2.8104
-100.00	0.5236	0.001792	0.89645	-27.47	476.52	503.99	-0.1531	2.7576
-95.00	0.7075	0.001812	0.67885	-15.48	482.28	497.76	-0.0851	2.7090
-90.00	0.9388	0.001833	0.52261	-3.41	487.91	491.32	-0.0185	2.6641
-88.60	1.0133	0.001838	0.48698	0.00	489.47	489.47	0.0000	2.6522
-85.00	1.2253	0.001854	0.40836	8.78	493.40	484.62	0.0469	2.6226
-80.00	1.5753	0.001876	0.32340	21.08	498.75	477.67	0.1111	2.5841
-78.00	1.735	0.001885	0.29561	26.04	500.85	474.81	0.1365	2.5695
-76.00	1.9068	0.001895	0.27071	31.02	502.92	471.9	0.1617	2.5553
-74.00	2.0914	0.001904	0.24835	36.02	504.96	468.94	0.1868	2.5415
-72.00	2.2892	0.001914	0.22823	41.04	506.97	465.93	0.2117	2.5280
-70.00	2.501	0.001924	0.21009	46.09	508.96	462.87	0.2364	2.5149
-68.00	2.7272	0.001934	0.19369	51.16	510.92	459.76	0.2611	2.5021
-66.00	2.9687	0.001944	0.17885	56.26	512.85	456.59	0.2856	2.4897
-64.00	3.2258	0.001955	0.16538	61.39	514.74	453.35	0.3099	2.4776
-62.00	3.4994	0.001966	0.15314	66.54	516.61	450.07	0.3342	2.4657
-60.00	3.79	0.001977	0.14200	71.72	518.44	446.72	0.3583	2.4542
-58.00	4.0983	0.001988	0.13183	76.93	520.24	443.31	0.3824	2.4429
-56.00	4.425	0.001999	0.12255	82.17	522.00	439.83	0.4063	2.4318
-54.00	4.7707	0.002011	0.11405	87.44	523.73	436.29	0.4302	2.4210
-52.00	5.136	0.002023	0.10626	92.74	525.42	432.68	0.4539	2.4104
-50.00	5.5216	0.002035	0.09912	98.07	527.07	429	0.4776	2.4000
-48.00	5.9283	0.002047	0.09254	103.44	528.68	425.24	0.5012	2.3899
-46.00	6.3567	0.002060	0.08649	108.85	530.25	421.4	0.5247	2.3799

-44.00	6.8074	0.002073	0.08091	114.29	531.78	417.49	0.5481	2.3700
-42.00	7.2813	0.002086	0.07576	119.78	533.26	413.48	0.5715	2.3603
-40.00	7.7789	0.002100	0.07100	125.30	534.70	409.4	0.5949	2.3508
-38.00	8.301	0.002114	0.06658	130.86	536.08	405.22	0.6182	2.3414
-36.00	8.8483	0.002129	0.06250	136.47	537.42	400.95	0.6414	2.3321
-34.00	9.4215	0.002144	0.05870	142.12	538.70	396.58	0.6646	2.3229
-32.00	10.021	0.002159	0.05517	147.82	539.93	392.11	0.6878	2.3138
-30.00	10.649	0.002175	0.05189	153.56	541.10	387.54	0.7110	2.3048
-28.00	11.304	0.002191	0.04883	159.36	542.20	382.84	0.7341	2.2958
-26.00	11.988	0.002208	0.04598	165.21	543.25	378.04	0.7573	2.2869
-24.00	12.702	0.002225	0.04331	171.11	544.22	373.11	0.7804	2.2780
-22.00	13.446	0.002243	0.04082	177.07	545.13	368.06	0.8036	2.2691
-20.00	14.222	0.002262	0.03849	183.09	545.96	362.87	0.8268	2.2602
-18.00	15.029	0.002281	0.03630	189.18	546.71	357.53	0.8500	2.2513
-16.00	15.87	0.002301	0.03425	195.33	547.38	352.05	0.8733	2.2423
-14.00	16.744	0.002322	0.03233	201.56	547.95	346.39	0.8966	2.2333
-12.00	17.652	0.002344	0.03052	207.86	548.43	340.57	0.9200	2.2241
-10.00	18.596	0.002366	0.02881	214.24	548.81	334.57	0.9435	2.2149
-8.00	19.575	0.002389	0.02720	220.71	549.07	328.36	0.9671	2.2055
-6.00	20.592	0.002414	0.02568	227.27	549.22	321.95	0.9908	2.1960
-4.00	21.647	0.002440	0.02425	233.92	549.24	315.32	1.0147	2.1862
-2.00	22.741	0.002467	0.02289	240.69	549.12	308.43	1.0388	2.1762
0.00	23.875	0.002496	0.02161	247.57	548.84	301.27	1.0630	2.1660
5.00	26.891	0.002577	0.01867	265.35	547.38	282.03	1.1247	2.1387
10.00	30.181	0.002672	0.01607	284.17	544.56	260.39	1.1887	2.1083
15.00	33.763	0.002791	0.01373	304.41	539.84	235.43	1.2561	2.0732
20.00	37.66	0.002947	0.01158	326.76	532.31	205.55	1.3292	2.0304
25.00	41.901	0.003177	0.00951	352.66	519.87	167.21	1.4124	1.9732
30.00	46.535	0.003614	0.00725	387.16	494.49	107.33	1.5219	1.8760
32.18	48.718	0.00484	0.00484	438.26	438.28	0	1.6868	1.6868



الجدول 15: الخواص الترموديناميكية للفرين R134a على خطي التكاثف

والغليان حسب درجة الحرارة

t [°C]	p [bar]	v' [m ³ /kg]	v'' [m ³ /kg]	i' [kJ/kg]	i'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kgK]	s'' [kJ/kgK]
-103.30	0.0039	0.000628	35.4960	71.46	334.94	263.48	0.4126	1.9639
-100.00	0.0056	0.000632	25.1930	75.36	336.85	261.49	0.4354	1.9456
-90.00	0.0152	0.000643	9.7698	87.23	342.76	255.53	0.5020	1.8972
-80.00	0.0367	0.000654	4.2682	99.16	348.83	249.67	0.5654	1.8580
-70.00	0.0798	0.000666	2.0590	111.20	355.02	243.82	0.6262	1.8264
-60.00	0.1591	0.000678	1.0790	123.36	361.31	237.95	0.6846	1.8010
-50.00	0.2945	0.000691	0.60620	135.67	367.65	231.98	0.7410	1.7806
-40.00	0.5121	0.000705	0.36108	148.14	374.00	225.86	0.7956	1.7643
-30.00	0.8438	0.000720	0.22594	160.79	380.32	219.53	0.8486	1.7515
-28.00	0.927	0.000723	0.20680	163.34	381.57	218.23	0.8591	1.7492
-26.07	1.0133	0.000726	0.19018	165.81	382.78	216.97	0.8690	1.7472
-26.00	1.0167	0.000726	0.18958	165.90	382.82	216.92	0.8694	1.7471
-24.00	1.113	0.000730	0.17407	168.47	384.07	215.6	0.8798	1.7451
-22.00	1.2165	0.000733	0.16006	171.05	385.32	214.27	0.8900	1.7432
-20.00	1.3273	0.000736	0.14739	173.64	386.55	212.91	0.9002	1.7413
-18.00	1.446	0.000740	0.13592	176.23	387.79	211.56	0.9104	1.7396
-16.00	1.5728	0.000743	0.12551	178.83	389.02	210.19	0.9205	1.7379
-14.00	1.7082	0.000746	0.11605	181.44	390.24	208.8	0.9306	1.7363
-12.00	1.8524	0.000750	0.10744	184.07	391.46	207.39	0.9407	1.7348
-10.00	2.006	0.000754	0.09959	186.70	392.66	205.96	0.9506	1.7334
-8.00	2.1693	0.000757	0.09242	189.34	393.87	204.53	0.9606	1.7320
-6.00	2.3428	0.000761	0.08587	191.99	395.06	203.07	0.9705	1.7307
-4.00	2.5268	0.000765	0.07987	194.65	396.25	201.6	0.9804	1.7294
-2.00	2.7217	0.000768	0.07436	197.32	397.43	200.11	0.9902	1.7282
0.00	2.928	0.000772	0.06931	200.00	398.60	198.6	1.0000	1.7271
2.00	3.1462	0.000776	0.06466	202.69	399.77	197.08	1.0098	1.7260
4.00	3.3766	0.000780	0.06039	205.40	400.92	195.52	1.0195	1.7250
6.00	3.6198	0.000784	0.05644	208.11	402.06	193.95	1.0292	1.7240
8.00	3.8761	0.000789	0.05280	210.84	403.20	192.36	1.0388	1.7230
10.00	4.1461	0.000793	0.04944	213.58	404.32	190.74	1.0485	1.7221
12.00	4.4301	0.000797	0.04633	216.33	405.43	189.1	1.0581	1.7212
14.00	4.7288	0.000802	0.04345	219.09	406.53	187.44	1.0677	1.7204
16.00	5.0425	0.000807	0.04078	221.87	407.61	185.74	1.0772	1.7196
18.00	5.3718	0.000811	0.03830	224.66	408.69	184.03	1.0867	1.7188
20.00	5.7171	0.000816	0.03600	227.47	409.75	182.28	1.0962	1.7180
22.00	6.0789	0.000821	0.03385	230.29	410.79	180.5	1.1057	1.7173
24.00	6.4578	0.000826	0.03186	233.12	411.82	178.7	1.1152	1.7166
26.00	6.8543	0.000831	0.03000	235.97	412.84	176.87	1.1246	1.7159

28.00	7.2688	0.000837	0.02826	238.84	413.84	175	1.1341	1.7152
30.00	7.702	0.000842	0.02664	241.72	414.82	173.1	1.1435	1.7145
32.00	8.1543	0.000848	0.02513	244.62	415.78	171.16	1.1529	1.7138
34.00	8.6263	0.000854	0.02371	247.54	416.72	169.18	1.1623	1.7131
36.00	9.1185	0.000860	0.02238	250.48	417.65	167.17	1.1717	1.7124
38.00	9.6315	0.000866	0.02113	253.43	418.55	165.12	1.1811	1.7118
40.00	10.166	0.000872	0.01997	256.41	419.43	163.02	1.1905	1.7111
42.00	10.722	0.000879	0.01887	259.41	420.28	160.87	1.1999	1.7103
44.00	11.301	0.000885	0.01784	262.43	421.11	158.68	1.2092	1.7096
46.00	11.903	0.000892	0.01687	265.47	421.92	156.45	1.2186	1.7089
48.00	12.529	0.000900	0.01595	268.53	422.69	154.16	1.2280	1.7081
50.00	13.179	0.000907	0.01509	271.62	423.44	151.82	1.2375	1.7072
52.00	13.854	0.000915	0.01428	274.74	424.15	149.41	1.2469	1.7064
54.00	14.555	0.000923	0.01351	277.89	424.83	146.94	1.2563	1.7055
56.00	15.282	0.000932	0.01278	281.06	425.47	144.41	1.2658	1.7045
58.00	16.036	0.000941	0.01209	284.27	426.07	141.8	1.2753	1.7035
60.00	16.818	0.000950	0.01144	287.50	426.63	139.13	1.2848	1.7024
62.00	17.628	0.000960	0.01083	290.78	427.14	136.36	1.2944	1.7013
64.00	18.467	0.000970	0.01024	294.09	427.61	133.52	1.3040	1.7000
66.00	19.337	0.000980	0.00969	297.44	428.02	130.58	1.3137	1.6987
68.00	20.237	0.000992	0.00916	300.84	428.36	127.52	1.3234	1.6972
70.00	21.168	0.001004	0.00865	304.28	428.65	124.37	1.3332	1.6956
72.00	22.132	0.001016	0.00817	307.78	428.86	121.08	1.3430	1.6939
74.00	23.13	0.001030	0.00771	311.33	429.00	117.67	1.3530	1.6920
76.00	24.161	0.001045	0.00727	314.94	429.04	114.1	1.3631	1.6899
78.00	25.228	0.001060	0.00685	318.63	428.98	110.35	1.3733	1.6876
80.00	26.332	0.001077	0.00645	322.39	428.81	106.42	1.3836	1.6850
85.00	29.258	0.001127	0.00550	332.22	427.76	95.54	1.4104	1.6771
90.00	32.442	0.001194	0.00461	342.93	425.42	82.49	1.4390	1.6662
95.00	35.912	0.001294	0.00374	355.25	420.67	65.42	1.4715	1.6492
100.00	39.724	0.001536	0.00268	373.30	407.68	34.38	1.5188	1.6109
101.06	40.593	0.001954	0.00195	389.64	389.64	0	1.5621	1.5621

الجدول 16: الخواص الترموديناميكية للفرين R410A على خطي التكاثف

والغليان حسب الضغط

p [bar]	t_{Bubble} [°C]	t_{Dew} [°C]	v' [m ³ /kg]	v'' [m ³ /kg]	i' [kJ/kg]	i'' [kJ/kg]	s' [kJ/kgK]	s'' [kJ/kgK]
0.1	-88.23	-88.14	0.000685	2.09888	76.56	378.76	0.4588	2.0927
0.2	-78.79	-78.70	0.000698	1.09659	89.26	384.25	0.5258	2.0432
0.4	-68.12	-68.04	0.000714	0.57309	103.64	390.29	0.5978	1.9956
0.6	-61.22	-61.14	0.000725	0.39193	113.00	394.10	0.6426	1.9687
0.8	-55.98	-55.90	0.000733	0.29918	120.14	396.92	0.6758	1.9500
1	-51.70	-51.62	0.00074	0.24256	125.99	399.17	0.7024	1.9358
1.0132	-51.44	-51.36	0.000741	0.23957	126.34	399.31	0.7040	1.9350
1.2	-48.06	-47.98	0.000747	0.20427	130.99	401.05	0.7247	1.9243
1.4	-44.87	-44.79	0.000753	0.17661	135.39	402.67	0.7441	1.9147
1.6	-42.02	-41.94	0.000758	0.15565	139.34	404.09	0.7612	1.9065
1.8	-39.44	-39.36	0.000763	0.13921	142.93	405.36	0.7766	1.8993
2	-37.07	-36.99	0.000767	0.12595	146.23	406.50	0.7905	1.8928
2.2	-34.89	-34.80	0.000771	0.11503	149.29	407.53	0.8034	1.8871
2.4	-32.85	-32.76	0.000776	0.10587	152.15	408.49	0.8153	1.8818
2.6	-30.94	-30.85	0.000779	0.09807	154.84	409.36	0.8264	1.8770
2.8	-29.14	-29.05	0.000783	0.09135	157.38	410.18	0.8368	1.8726
3	-27.44	-27.35	0.000787	0.08550	159.80	410.94	0.8466	1.8685
3.2	-25.82	-25.73	0.00079	0.08035	162.10	411.65	0.8558	1.8647
3.4	-24.28	-24.19	0.000794	0.07579	164.29	412.32	0.8646	1.8611
3.6	-22.81	-22.72	0.000797	0.07172	166.40	412.95	0.8703	1.8577
3.8	-21.40	-21.31	0.0008	0.06806	168.43	413.54	0.8810	1.8545
4	-20.04	-19.95	0.000803	0.06476	170.38	414.10	0.8887	1.8514
4.2	-18.74	-18.65	0.000806	0.06176	172.26	414.64	0.8960	1.8486
4.4	-17.48	-17.39	0.000809	0.05902	174.08	415.14	0.9031	1.8458
4.6	-16.27	-16.18	0.000812	0.05652	175.84	415.63	0.9099	1.8432
4.8	-15.10	-15.00	0.000815	0.05421	177.55	416.09	0.9165	1.8407
5	-13.96	-13.86	0.000817	0.05209	179.21	416.53	0.9228	1.8383
5.5	-11.26	-11.16	0.000824	0.04743	183.17	417.54	0.9379	1.8326
6	-8.74	-8.64	0.000831	0.04352	186.89	418.46	0.9518	1.8275
6.5	-6.38	-6.28	0.000837	0.04019	190.40	419.28	0.9649	1.8227
7	-4.15	-4.05	0.000843	0.03732	193.74	420.03	0.9772	1.8183
7.5	-2.04	-1.93	0.000849	0.03482	196.92	420.71	0.9888	1.8141
8	-0.03	0.08	0.000855	0.03262	199.96	421.33	0.9998	1.8102
8.5	1.89	1.99	0.00086	0.03068	202.88	421.89	1.0103	1.8065
9	3.72	3.83	0.000866	0.02894	205.69	422.41	1.0204	1.8030
9.5	5.48	5.58	0.000871	0.02738	208.40	422.88	1.0300	1.7996
10	7.17	7.27	0.000877	0.02596	211.02	423.31	1.0392	1.7964
11	10.36	10.47	0.000887	0.02351	216.03	424.07	1.0567	1.7903

12	13.34	13.46	0.000898	0.02145	220.76	424.68	1.0730	1.7846
13	16.15	16.26	0.000908	0.01970	225.26	425.19	1.0883	1.7792
14	18.79	18.91	0.000918	0.0181	229.56	425.59	1.1027	1.7741
15	21.30	21.41	0.000929	0.01687	233.68	425.89	1.1165	1.7691
16	23.68	23.80	0.000939	0.0157	237.65	426.11	1.1296	1.7644
17	25.96	26.07	0.000949	0.01468	241.48	426.25	1.1421	1.7597
18	28.13	28.25	0.000959	0.01376	245.19	426.31	1.1542	1.7552
19	30.22	30.34	0.000969	0.01293	248.79	426.31	1.1657	1.7508
20	32.22	32.34	0.00098	0.01218	252.29	426.24	1.1769	1.7464
21	34.16	34.28	0.00099	0.0115	255.71	426.10	1.1878	1.7421
22	36.02	36.14	0.001001	0.01088	259.05	425.90	1.1983	1.7379
23	37.82	37.94	0.001012	0.01031	262.32	425.64	1.2085	1.7336
24	39.56	39.68	0.001022	0.00978	265.52	425.33	1.2185	1.7294
25	41.25	41.37	0.001034	0.00929	268.67	424.95	1.2282	1.7251
26	42.89	43.00	0.001045	0.00883	271.77	424.51	1.2377	1.7209
27	44.48	44.59	0.001057	0.00841	274.82	424.02	1.2470	1.7166
28	46.02	46.14	0.001069	0.00802	277.84	423.47	1.2561	1.7123
29	47.53	47.64	0.001081	0.00764	280.82	422.85	1.2651	1.7079
30	48.99	49.10	0.001093	0.00729	283.78	422.18	1.2740	1.7035
32	51.81	51.91	0.00112	0.00665	289.62	420.62	1.2913	1.6944
34	54.49	54.59	0.001149	0.00607	295.43	418.78	1.3085	1.6849
36	57.05	57.15	0.001182	0.00555	301.26	416.60	1.3254	1.6747
38	59.50	59.59	0.001218	0.00506	307.16	414.03	1.3425	1.6638
40	61.85	61.93	0.00126	0.00460	313.24	410.97	1.3600	1.6517
42	64.10	64.17	0.001311	0.00417	319.65	407.24	1.3783	1.6380
49.03	71.36	71.36	0.00218	0.00218	368.55	368.55	1.5181	1.5181



الجدول 17: الخواص الترموديناميكية للفرئون R404A على خطي التكاثف

والغليان حسب الضغط

p [bar]	t_{Bubble} [°C]	t_{Dew} [°C]	v' [m ³ /kg]	v'' [m ³ /kg]	i' [kJ/kg]	i'' [kJ/kg]	s' [kJ/kgK]	s'' [kJ/kgK]
0.05	-93.70	-92.50	0.000691	3.05794	81.16	311.61	0.4716	1.7532
0.06	-91.48	-90.32	0.000694	2.57690	83.85	312.92	0.4865	1.7450
0.07	-89.56	-88.42	0.000697	2.22992	86.19	314.06	0.4993	1.7382
0.08	-87.86	-86.74	0.000699	1.96748	88.26	315.07	0.5106	1.7324
0.09	-86.32	-85.22	0.000702	1.76182	90.13	315.99	0.5206	1.7273
0.1	-84.93	-83.84	0.000704	1.59620	91.83	316.83	0.5296	1.7229
0.2	-75.05	-74.08	0.000718	0.83425	103.81	322.78	0.5917	1.6953
0.4	-63.85	-62.97	0.000736	0.43619	117.48	329.58	0.6587	1.6707
0.6	-56.57	-55.75	0.000748	0.29837	126.44	334.00	0.7007	1.6578
0.8	-51.03	-50.25	0.000757	0.22779	133.31	337.36	0.7320	1.6494
1	-46.50	-45.74	0.000765	0.18467	138.97	340.08	0.7571	1.6434
1.0132	-46.22	-45.47	0.000766	0.18240	139.31	340.25	0.7586	1.6430
1.2	-42.63	-41.90	0.000772	0.15551	143.83	342.40	0.7783	1.6387
1.4	-39.24	-38.53	0.000779	0.13443	148.12	344.41	0.7967	1.6349
1.6	-36.20	-35.51	0.000784	0.11846	151.97	346.20	0.8130	1.6318
1.8	-33.45	-32.78	0.00079	0.10592	155.49	347.81	0.8277	1.6292
2	-30.93	-30.27	0.000795	0.09581	158.73	349.28	0.8411	1.6270
2.2	-28.59	-27.94	0.0008	0.08748	161.75	350.63	0.8534	1.6250
2.4	-26.42	-25.78	0.000804	0.08049	164.57	351.88	0.8649	1.6233
2.6	-24.37	-23.75	0.000809	0.07454	167.23	353.04	0.8755	1.6217
2.8	-22.45	-21.83	0.000813	0.06941	169.75	354.13	0.8855	1.6203
3	-20.62	-20.02	0.000817	0.06494	172.14	355.15	0.8950	1.6190
3.2	-18.89	-18.29	0.000821	0.06101	174.43	356.12	0.9039	1.6179
3.4	-17.24	-16.65	0.000825	0.05752	176.61	357.03	0.9125	1.6168
3.6	-15.66	-15.08	0.000829	0.05441	178.71	357.90	0.9206	1.6158
3.8	-14.15	-13.57	0.000832	0.05162	180.73	358.72	0.9283	1.6149
4	-12.69	-12.12	0.000836	0.04909	182.68	359.51	0.9358	1.6141
4.2	-11.29	-10.73	0.000839	0.04680	184.56	360.26	0.9429	1.6133
4.4	-9.94	-9.39	0.000843	0.04471	186.38	360.98	0.9498	1.6125
4.6	-8.64	-8.09	0.000846	0.04279	188.15	361.67	0.9564	1.6118
4.8	-7.37	-6.83	0.000849	0.04103	189.86	362.33	0.9628	1.6112
5	-6.15	-5.61	0.000853	0.03940	191.53	362.96	0.9690	1.6105
5.5	-3.24	-2.72	0.00086	0.03584	195.51	364.45	0.9837	1.6091
6	-0.53	-0.02	0.000868	0.03284	199.26	365.81	0.9973	1.6078
6.5	2.02	2.52	0.000875	0.03029	202.81	367.06	1.0101	1.6066
7	4.42	4.91	0.000883	0.02809	206.18	368.21	1.0222	1.6055
7.5	6.70	7.18	0.00089	0.02618	209.41	369.28	1.0336	1.6044
8	8.87	9.34	0.000897	0.02449	212.49	370.27	1.0444	1.6035

8.5	10.94	11.40	0.000904	0.02300	215.46	371.19	1.0547	1.6025
9	12.92	13.37	0.000911	0.02166	218.32	372.05	1.0646	1.6016
9.5	14.81	15.26	0.000917	0.02046	221.09	372.85	1.0741	1.6007
10	16.64	17.08	0.000924	0.01937	223.77	373.59	1.0832	1.5999
11	20.09	20.52	0.000937	0.01749	228.89	374.94	1.1005	1.5982
12	23.32	23.73	0.000951	0.01590	233.75	376.12	1.1166	1.5965
13	26.35	26.75	0.000964	0.01455	238.37	377.14	1.1318	1.5949
14	29.22	29.60	0.000977	0.01338	242.81	378.02	1.1462	1.5932
15	31.93	32.30	0.000991	0.01236	247.07	378.78	1.1599	1.5914
16	34.51	34.87	0.001004	0.01146	251.19	379.42	1.1730	1.5896
17	36.97	37.32	0.001018	0.01066	255.17	379.95	1.1856	1.5878
18	39.33	39.67	0.001032	0.00994	259.05	380.38	1.1977	1.5858
19	41.58	41.91	0.001047	0.00930	262.83	380.70	1.2095	1.5838
20	43.75	44.07	0.001062	0.00871	266.52	380.92	1.2208	1.5817
21	45.84	46.15	0.001077	0.00817	270.14	381.05	1.2319	1.5794
22	47.85	48.15	0.001094	0.00768	273.70	381.08	1.2427	1.5770
23	49.80	50.08	0.001111	0.00723	277.20	381.01	1.2532	1.5745
24	51.68	51.95	0.001128	0.00680	280.66	380.83	1.2635	1.5718
25	53.50	53.76	0.001147	0.00641	284.09	380.55	1.2737	1.5689
26	55.26	55.51	0.001166	0.00604	287.50	380.15	1.2837	1.5658
27	56.97	57.21	0.001187	0.00569	290.89	379.62	1.2937	1.5624
28	58.63	58.86	0.001209	0.00536	294.29	378.96	1.3036	1.5587
29	60.24	60.46	0.001234	0.00505	297.70	378.14	1.3135	1.5547
30	61.81	62.01	0.00126	0.00475	301.15	377.15	1.3234	1.5503
32	64.82	64.99	0.001323	0.00417	308.25	374.49	1.3438	1.5397
34	67.67	67.81	0.001409	0.00361	315.97	370.45	1.3657	1.5255
37.29	72.05	72.05	0.002055	0.00206	343.92	343.92	1.4455	1.4455



الجدول 18: الخواص الترموديناميكية للفرينون R123 على خطي التكاثف

والغليان حسب درجة الحرارة

t [°C]	p [bar]	v' [m ³ /kg]	v'' [m ³ /kg]	i' [kJ/kg]	i'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kgK]	s'' [kJ/kgK]
-80.00	0.0013	0.000585	83.6670	123.92	335.98	212.06	0.6712	1.7691
-70.00	0.0034	0.000593	32.8420	133.17	341.25	208.08	0.7179	1.7422
-60.00	0.0081	0.000601	14.3330	142.46	346.66	204.2	0.7625	1.7206
-50.00	0.0177	0.000609	6.84600	151.81	352.21	200.4	0.8054	1.7034
-40.00	0.0358	0.000617	3.53190	161.25	357.88	196.63	0.8468	1.6901
-30.00	0.0675	0.000626	1.94700	170.78	363.65	192.87	0.8868	1.6800
-20.00	0.12	0.000635	1.13640	180.41	369.52	189.11	0.9256	1.6726
-10.00	0.2025	0.000645	0.69690	190.15	375.45	185.3	0.9633	1.6675
0.00	0.3265	0.000655	0.44609	200.00	381.44	181.44	1.0000	1.6642
2.00	0.3574	0.000657	0.40991	201.98	382.64	180.66	1.0072	1.6638
4.00	0.3907	0.000659	0.37720	203.97	383.84	179.87	1.0144	1.6634
6.00	0.4264	0.000662	0.34759	205.97	385.05	179.08	1.0216	1.6631
8.00	0.4647	0.000664	0.32075	207.96	386.25	178.29	1.0287	1.6628
10.00	0.5057	0.000666	0.29637	209.97	387.46	177.49	1.0358	1.6626
12.00	0.5495	0.000668	0.27420	211.97	388.66	176.69	1.0428	1.6625
14.00	0.5963	0.00067	0.25401	213.99	389.87	175.88	1.0499	1.6624
16.00	0.6463	0.000673	0.23559	216.00	391.08	175.08	1.0569	1.6623
18.00	0.6995	0.000675	0.21877	218.02	392.29	174.27	1.0638	1.6623
20.00	0.7561	0.000677	0.20338	220.05	393.49	173.44	1.0707	1.6624
22.00	0.8163	0.00068	0.18929	222.08	394.70	172.62	1.0776	1.6625
24.00	0.8802	0.000682	0.17637	224.12	395.91	171.79	1.0845	1.6626
26.00	0.948	0.000684	0.16451	226.16	397.12	170.96	1.0913	1.6628
27.82b	1.0133	0.000687	0.15453	228.03	398.22	170.19	1.0975	1.6630
28.00	1.0198	0.000687	0.15360	228.21	398.32	170.11	1.0981	1.6630
30.00	1.0958	0.000689	0.14356	230.26	399.53	169.27	1.1049	1.6633
32.00	1.1762	0.000692	0.13431	232.31	400.73	168.42	1.1116	1.6635
34.00	1.2611	0.000694	0.12577	234.38	401.93	167.55	1.1183	1.6639
36.00	1.3507	0.000697	0.11789	236.44	403.14	166.7	1.1250	1.6642
38.00	1.4452	0.000699	0.11060	238.51	404.34	165.83	1.1317	1.6646
40.00	1.5447	0.000702	0.10385	240.59	405.54	164.95	1.1383	1.6651
42.00	1.6495	0.000705	0.09759	242.67	406.73	164.06	1.1449	1.6655
44.00	1.7597	0.000707	0.09179	244.76	407.93	163.17	1.1515	1.6660
46.00	1.8755	0.00071	0.08641	246.86	409.12	162.26	1.1581	1.6665
48.00	1.9971	0.000713	0.08140	248.95	410.31	161.36	1.1646	1.6670
50.00	2.1246	0.000715	0.07674	251.06	411.50	160.44	1.1711	1.6676
52.00	2.2584	0.000718	0.07240	253.17	412.69	159.52	1.1776	1.6682
54.00	2.3985	0.000721	0.06836	255.28	413.87	158.59	1.1840	1.6688
56.00	2.5451	0.000724	0.06458	257.41	415.05	157.64	1.1905	1.6694

58.00	2.6985	0.000727	0.06106	259.53	416.23	156.7	1.1969	1.6701
60.00	2.8589	0.00073	0.05777	261.67	417.40	155.73	1.2033	1.6707
62.00	3.0264	0.000733	0.05469	263.81	418.57	154.76	1.2096	1.6714
64.00	3.2013	0.000736	0.05180	265.95	419.73	153.78	1.2160	1.6721
66.00	3.3838	0.000739	0.04910	268.10	420.89	152.79	1.2223	1.6728
68.00	3.574	0.000742	0.04656	270.26	422.05	151.79	1.2286	1.6735
70.00	3.7722	0.000746	0.04418	272.42	423.20	150.78	1.2349	1.6743
72.00	3.9787	0.000749	0.04195	274.60	424.35	149.75	1.2411	1.6750
74.00	4.1936	0.000752	0.03985	276.77	425.50	148.73	1.2474	1.6758
76.00	4.4171	0.000756	0.03787	278.96	426.63	147.67	1.2536	1.6766
78.00	4.6494	0.000759	0.03601	281.15	427.77	146.62	1.2598	1.6774
80.00	4.8909	0.000763	0.03426	283.35	428.89	145.54	1.2660	1.6781
82.00	5.1416	0.000766	0.03261	285.55	430.01	144.46	1.2722	1.6789
84.00	5.4019	0.00077	0.03105	287.77	431.13	143.36	1.2783	1.6797
86.00	5.672	0.000774	0.02958	289.99	432.23	142.24	1.2845	1.6806
88.00	5.952	0.000777	0.02819	292.22	433.33	141.11	1.2906	1.6814
90.00	6.2423	0.000781	0.02687	294.45	434.43	139.98	1.2967	1.6822
92.00	6.543	0.000785	0.02563	296.70	435.51	138.81	1.3028	1.6830
94.00	6.8544	0.000789	0.02445	298.95	436.59	137.64	1.3089	1.6838
96.00	7.1768	0.000793	0.02334	301.21	437.66	136.45	1.3150	1.6846
98.00	7.5103	0.000798	0.02228	303.49	438.72	135.23	1.3211	1.6854
100.00	7.8553	0.000802	0.02128	305.77	439.77	134	1.3271	1.6862
110.00	9.7603	0.000825	0.01697	317.32	444.88	127.56	1.3572	1.6902
120.00	11.99	0.000851	0.01361	329.15	449.67	120.52	1.3872	1.6938
130.00	14.578	0.000882	0.01094	341.32	454.07	112.75	1.4173	1.6969
140.00	17.563	0.000919	0.00879	353.92	457.94	104.02	1.4475	1.6992
150.00	20.987	0.000965	0.00703	367.10	461.05	93.95	1.4782	1.7003
160.00	24.901	0.001025	0.00555	381.13	463.01	81.88	1.5101	1.6991
170.00	29.372	0.001115	0.00425	396.61	462.89	66.28	1.5443	1.6939
180.00	34.506	0.001306	0.00292	416.22	456.82	40.6	1.5867	1.6763
183.68	36.618	0.00182	0.00182	437.39	437.39	0	1.6325	1.6325

الجدول 19: الخواص الترموديناميكية للفرين R32 على خطي التكاثف والغليان

حسب درجة الحرارة

t [°C]	p [bar]	v' [m ³ /kg]	v'' [m ³ /kg]	i' [kJ/kg]	i'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kgK]	s'' [kJ/kgK]
-136.81	0.0005	0.0007	453.850	-19.07	444.31	463.38	-0.1050	3.2937
-130	0.0013	0.000708	174.360	-8.26	448.77	457.03	-0.0276	3.1651
-120	0.0048	0.00072	51.1840	7.52	455.33	447.81	0.0790	3.0030
-110	0.0145	0.000733	17.9070	23.20	461.86	438.66	0.1782	2.8668
-100	0.0381	0.000747	7.22200	38.83	468.31	429.48	0.2711	2.7515
-90	0.0887	0.000761	3.27210	54.42	474.61	420.19	0.3586	2.6529
-80	0.1865	0.000776	1.63160	70.02	480.72	410.7	0.4415	2.5679
-70	0.3607	0.000792	0.88072	85.66	486.57	400.91	0.5204	2.4939
-60	0.6496	0.000809	0.50786	101.38	492.11	390.73	0.5958	2.4289
-51.65	1.0133	0.000824	0.33468	114.59	496.45	381.86	0.6565	2.3805
-50	1.1014	0.000828	0.30944	117.22	497.27	380.05	0.6683	2.3714
-40	1.7741	0.000847	0.19743	133.23	502.02	368.79	0.7382	2.3200
-38	1.9409	0.000851	0.18134	136.45	502.91	366.46	0.7519	2.3103
-36	2.1197	0.000856	0.16680	139.69	503.78	364.09	0.7655	2.3008
-34	2.3111	0.00086	0.15365	142.93	504.63	361.7	0.7791	2.2916
-32	2.5159	0.000864	0.14173	146.18	505.47	359.29	0.7926	2.2824
-30	2.7344	0.000869	0.13091	149.45	506.27	356.82	0.8060	2.2735
-28	2.9675	0.000873	0.12107	152.72	507.06	354.34	0.8193	2.2647
-26	3.2157	0.000878	0.11211	156.01	507.83	351.82	0.8326	2.2561
-24	3.4796	0.000883	0.10393	159.31	508.57	349.26	0.8458	2.2476
-22	3.7600	0.000888	0.09646	162.62	509.28	346.66	0.8589	2.2392
-20	4.0575	0.000892	0.08963	165.94	509.97	344.03	0.8720	2.2310
-18	4.3728	0.000897	0.08337	169.28	510.64	341.36	0.8850	2.2229
-16	4.7067	0.000903	0.07762	172.63	511.28	338.65	0.8979	2.2149
-14	5.0597	0.000908	0.07234	175.99	511.89	335.9	0.9109	2.2070
-12	5.4327	0.000913	0.06749	179.37	512.47	333.1	0.9237	2.1992
-10	5.8263	0.000918	0.06301	182.76	513.02	330.26	0.9365	2.1915
-8	6.2414	0.000924	0.05889	186.18	513.54	327.36	0.9493	2.1839
-6	6.6786	0.00093	0.05508	189.60	514.03	324.43	0.9620	2.1764
-4	7.1388	0.000936	0.05155	193.05	514.49	321.44	0.9747	2.1690
-2	7.6226	0.000942	0.04829	196.52	514.91	318.39	0.9874	2.1616
0	8.1310	0.000948	0.04527	200.00	515.30	315.3	1.0000	2.1543
2	8.6647	0.000954	0.04246	203.50	515.65	312.15	1.0126	2.1471
4	9.2245	0.00096	0.03986	207.03	515.96	308.93	1.0252	2.1399
6	9.8113	0.000967	0.03743	210.58	516.24	305.66	1.0377	2.1327
8	10.426	0.000974	0.03518	214.15	516.47	302.32	1.0503	2.1256
10	11.069	0.000981	0.03308	217.74	516.66	298.92	1.0628	2.1185
12	11.742	0.000988	0.03112	221.36	516.80	295.44	1.0753	2.1114

14	12.445	0.000995	0.02929	225.01	516.90	291.89	1.0878	2.1043
16	13.179	0.001003	0.02758	228.68	516.95	288.27	1.1003	2.0972
18	13.946	0.001011	0.02598	232.39	516.95	284.56	1.1128	2.0902
20	14.746	0.001019	0.02448	236.12	516.90	280.78	1.1253	2.0831
22	15.579	0.001027	0.02307	239.89	516.79	276.9	1.1378	2.0760
24	16.448	0.001036	0.02175	243.69	516.62	272.93	1.1503	2.0688
26	17.353	0.001045	0.02051	247.53	516.39	268.86	1.1629	2.0616
28	18.295	0.001055	0.01935	251.40	516.09	264.69	1.1755	2.0544
30	19.275	0.001064	0.01826	255.32	515.72	260.4	1.1881	2.0471
32	20.294	0.001074	0.01722	259.28	515.29	256.01	1.2007	2.0397
34	21.353	0.001085	0.01625	263.28	514.77	251.49	1.2134	2.0322
36	22.454	0.001096	0.01533	267.34	514.17	246.83	1.2262	2.0246
38	23.597	0.001108	0.01447	271.45	513.49	242.04	1.2391	2.0169
40	24.783	0.00112	0.01365	275.61	512.71	237.1	1.2520	2.0091
42	26.014	0.001133	0.01287	279.84	511.82	231.98	1.2650	2.0011
44	27.292	0.001146	0.01214	284.13	510.83	226.7	1.2781	1.9929
46	28.616	0.00116	0.01144	288.50	509.72	221.22	1.2914	1.9845
48	29.989	0.001175	0.01078	292.95	508.48	215.53	1.3048	1.9759
50	31.412	0.001191	0.01015	297.49	507.10	209.61	1.3183	1.9670
52	32.887	0.001209	0.00955	302.12	505.57	203.45	1.3321	1.9578
54	34.415	0.001227	0.00897	306.87	503.86	196.99	1.3461	1.9482
56	35.997	0.001247	0.00843	311.74	501.95	190.21	1.3603	1.9382
58	37.635	0.001269	0.00790	316.75	499.82	183.07	1.3749	1.9277
60	39.332	0.001293	0.00740	321.93	497.44	175.51	1.3898	1.9166
62	41.089	0.00132	0.00691	327.30	494.76	167.46	1.4052	1.9048
64	42.909	0.001349	0.00644	332.90	491.73	158.83	1.4211	1.8922
66	44.793	0.001383	0.00598	338.78	488.26	149.48	1.4377	1.8785
68	46.745	0.001422	0.00553	345.02	484.25	139.23	1.4553	1.8634
70	48.768	0.001469	0.00508	351.73	479.52	127.79	1.4740	1.8464
75	54.168	0.00165	0.00391	372.39	461.72	89.33	1.5314	1.7880
78.11	57.820	0.00236	0.00236	414.15	414.15	0	1.6486	1.6486

الجدول 20: الخواص الترموديناميكية للفرئون R407C على خطي التكاثف

والغليان حسب الضغط

p [bar]	t_{Bubble} [°C]	t_{Dew} [°C]	v' [m ³ /kg]	v'' [m ³ /kg]	i' [kJ/kg]	i'' [kJ/kg]	s' [kJ/kgK]	s'' [kJ/kgK]
0.1	-82.45	-74.81	0.000669	1.89703	90.48	366.78	0.5259	1.9471
0.2	-72.50	-65.02	0.000682	0.99017	103.24	372.75	0.5910	1.9104
0.4	-61.25	-53.95	0.000697	0.51705	117.72	379.47	0.6612	1.8761
0.6	-53.96	-46.79	0.000708	0.35346	127.17	383.77	0.7050	1.8573
0.8	-48.42	-41.34	0.000717	0.26975	134.39	386.99	0.7374	1.8445
1	-43.90	-36.90	0.000724	0.21865	140.31	389.59	0.7635	1.8349
1.0132	-43.63	-36.63	0.000724	0.21595	140.67	389.75	0.7650	1.8343
1.2	-40.05	-33.11	0.00073	0.18411	145.39	391.78	0.7854	1.8273
1.4	-36.67	-29.79	0.000736	0.15916	149.86	393.68	0.8043	1.8210
1.6	-33.65	-26.83	0.000741	0.14025	153.86	395.36	0.8211	1.8156
1.8	-30.92	-24.15	0.000746	0.12542	157.51	396.86	0.8362	1.8110
2	-28.41	-21.69	0.00075	0.11347	160.87	398.22	0.8499	1.8069
2.2	-26.09	-19.41	0.000754	0.10362	163.99	399.47	0.8625	1.8033
2.4	-23.93	-17.29	0.000758	0.09536	166.91	400.62	0.8742	1.8000
2.6	-21.90	-15.31	0.000762	0.08833	169.65	401.69	0.8851	1.7970
2.8	-19.99	-13.43	0.000766	0.08227	172.24	402.69	0.8954	1.7942
3	-18.19	-11.66	0.00077	0.07699	174.71	403.62	0.9050	1.7917
3.2	-16.47	-9.98	0.000773	0.07235	177.06	404.49	0.9141	1.7894
3.4	-14.83	-8.38	0.000776	0.06824	179.30	405.32	0.9228	1.7872
3.6	-13.27	-6.85	0.000779	0.06457	181.45	406.10	0.9310	1.7851
3.8	-11.77	-5.38	0.000783	0.06127	183.52	406.85	0.9389	1.7832
4	-10.33	-3.97	0.000786	0.05830	185.52	407.55	0.9465	1.7814
4.2	-8.94	-2.61	0.000789	0.05559	187.44	408.23	0.9537	1.7796
4.4	-7.61	-1.31	0.000792	0.05313	189.30	408.87	0.9607	1.7780
4.6	-6.31	-0.04	0.000794	0.05087	191.11	409.48	0.9674	1.7764
4.8	-5.06	1.18	0.000797	0.04879	192.86	410.07	0.9739	1.7750
5	-3.85	2.36	0.0008	0.04687	194.56	410.64	0.9801	1.7735
5.5	-0.98	5.17	0.000807	0.04267	198.61	411.95	0.9950	1.7702
6	1.70	7.79	0.000813	0.03915	202.42	413.15	1.0087	1.7672
6.5	4.22	10.24	0.000819	0.03615	206.02	414.25	1.0216	1.7644
7	6.60	12.56	0.000825	0.03356	209.44	415.25	1.0338	1.7618
7.5	8.85	14.76	0.000831	0.03131	212.71	416.18	1.0452	1.7594
8	11.00	16.85	0.000837	0.02933	215.83	417.03	1.0561	1.7571
8.5	13.04	18.84	0.000843	0.02757	218.83	417.83	1.0665	1.7550
9	15.00	20.74	0.000848	0.02600	221.71	418.57	1.0764	1.7529
9.5	16.88	22.56	0.000854	0.02460	224.50	419.25	1.0859	1.7509
10	18.69	24.32	0.000859	0.02332	227.19	419.89	1.0950	1.7491
11	22.11	27.63	0.00087	0.02111	232.34	421.03	1.1122	1.7455

12	25.30	30.73	0.00088	0.01926	237.20	422.03	1.1283	1.7421
13	28.30	33.63	0.00089	0.01768	241.82	422.89	1.1434	1.7389
14	31.14	36.37	0.000901	0.01631	246.24	423.63	1.1577	1.7358
15	33.83	38.97	0.000911	0.01512	250.48	424.27	1.1713	1.7328
16	36.39	41.43	0.000921	0.01408	254.57	424.80	1.1843	1.7298
17	38.84	43.78	0.000932	0.01315	258.51	425.25	1.1967	1.7269
18	41.18	46.03	0.000942	0.01231	262.33	425.61	1.2086	1.7241
19	43.43	48.18	0.000952	0.01157	266.05	425.89	1.2200	1.7212
20	45.59	50.25	0.000963	0.01089	269.66	426.10	1.2311	1.7184
21	47.67	52.24	0.000974	0.01027	273.19	426.23	1.2418	1.7155
22	49.68	54.15	0.000985	0.00971	276.64	426.29	1.2522	1.7126
23	51.63	56.00	0.000996	0.00919	280.02	426.28	1.2624	1.7097
24	53.51	57.79	0.001007	0.00871	283.34	426.20	1.2723	1.7068
25	55.34	59.51	0.001019	0.00827	286.60	426.06	1.2819	1.7038
26	57.11	61.19	0.00103	0.00786	289.82	425.85	1.2914	1.7007
27	58.83	62.81	0.001043	0.00747	292.99	425.57	1.3006	1.6976
28	60.51	64.38	0.001055	0.00711	296.12	425.21	1.3097	1.6944
29	62.14	65.91	0.001068	0.00677	299.23	424.79	1.3187	1.6911
30	63.73	67.40	0.001082	0.00645	302.31	424.29	1.3276	1.6877
32	66.80	70.25	0.001111	0.00587	308.43	423.06	1.3450	1.6805
34	69.73	72.94	0.001143	0.00533	314.54	421.46	1.3622	1.6726
36	72.53	75.50	0.00118	0.00484	320.71	419.45	1.3795	1.6639
38	75.22	77.92	0.001222	0.00439	327.02	416.91	1.3970	1.6540
40	77.82	80.21	0.001274	0.00395	333.64	413.66	1.4152	1.6424
42	80.32	82.37	0.00134	0.00352	340.83	409.34	1.4348	1.6281
46.3	86.03	86.03	0.002065	0.00207	378.48	378.48	1.5384	1.5384

الجدول 21: الخواص الترموديناميكية للماء R718 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة

t [°C]	p [bar]	v' [m ³ /kg]	v'' [m ³ /kg]	i' [kJ/kg]	i'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kgK]	s'' [kJ/kgK]
0.01	0.00612	0.001000	205.997	0.00	2500.91	2500.91	0.0000	9.1555
5	0.00873	0.001000	147.017	21.02	2510.07	2489.05	0.0763	9.0249
10	0.01228	0.001000	106.309	42.02	2519.23	2477.21	0.1511	8.8998
15	0.01706	0.001001	77.881	62.98	2528.36	2465.38	0.2245	8.7804
20	0.02339	0.001002	57.761	83.92	2537.47	2453.55	0.2965	8.6661
25	0.0317	0.001003	43.341	104.84	2546.54	2441.71	0.3673	8.5568
30	0.04247	0.001004	32.882	125.75	2555.58	2429.84	0.4368	8.4521
35	0.05629	0.001006	25.208	146.64	2564.58	2417.94	0.5052	8.3518
40	0.07384	0.001008	19.517	167.54	2573.54	2406.00	0.5724	8.2557
45	0.09594	0.001010	15.253	188.44	2582.45	2394.02	0.6386	8.1634
50	0.12351	0.001012	12.028	209.34	2591.31	2381.97	0.7038	8.0749
55	0.15761	0.001015	9.565	230.24	2600.11	2369.87	0.7680	7.9899
60	0.19946	0.001017	7.668	251.15	2608.85	2357.69	0.8312	7.9082
65	0.25041	0.001020	6.194	272.08	2617.51	2345.43	0.8935	7.8296
70	0.31201	0.001023	5.040	293.02	2626.10	2333.08	0.9550	7.7540
75	0.38595	0.001026	4.129	313.97	2634.60	2320.63	1.0156	7.6812
80	0.47415	0.001029	3.405	334.95	2643.01	2308.07	1.0754	7.6110
85	0.57867	0.001032	2.826	355.95	2651.33	2295.38	1.1344	7.5434
90	0.70182	0.001036	2.359	376.97	2659.53	2282.56	1.1927	7.4781
95	0.84609	0.001040	1.981	398.02	2667.61	2269.60	1.2502	7.4150
99.97	1.01309	0.001043	1.674	418.97	2675.52	2256.55	1.3067	7.3544
100	1.01418	0.001043	1.672	419.10	2675.57	2256.47	1.3070	7.3541
105	1.20902	0.001047	1.418	440.21	2683.39	2243.18	1.3632	7.2951
110	1.43376	0.001052	1.209	461.36	2691.07	2229.70	1.4187	7.2380
115	1.69177	0.001056	1.036	482.55	2698.58	2216.03	1.4735	7.1827
120	1.98665	0.001060	0.891	503.78	2705.93	2202.15	1.5278	7.1291
125	2.32224	0.001065	0.770	525.06	2713.11	2188.04	1.5815	7.0770
130	2.7026	0.001070	0.668	546.39	2720.09	2173.70	1.6346	7.0264
135	3.13201	0.001075	0.582	567.77	2726.87	2159.10	1.6872	6.9772
140	3.61501	0.001080	0.509	589.20	2733.44	2144.24	1.7393	6.9293
145	4.15635	0.001085	0.446	610.69	2739.80	2129.10	1.7909	6.8826
150	4.76101	0.001091	0.393	632.25	2745.92	2113.67	1.8420	6.8370
155	5.43422	0.001096	0.347	653.88	2751.80	2097.92	1.8926	6.7926
160	6.18139	0.001102	0.307	675.57	2757.43	2081.86	1.9428	6.7491
165	7.0082	0.001108	0.272	697.35	2762.80	2065.45	1.9926	6.7066
170	7.92053	0.001114	0.243	719.21	2767.89	2048.69	2.0419	6.6649
175	8.92447	0.001121	0.217	741.15	2772.70	2031.55	2.0909	6.6241
180	10.0263	0.001127	0.194	763.19	2777.22	2014.03	2.1395	6.5841

185	11.2327	0.001134	0.174	785.32	2781.43	1996.10	2.1878	6.5447
190	12.5502	0.001141	0.156	807.57	2785.31	1977.74	2.2358	6.5060
195	13.9858	0.001149	0.141	829.92	2788.86	1958.94	2.2834	6.4679
200	15.5467	0.001157	0.127	852.39	2792.06	1939.67	2.3308	6.4303
205	17.2402	0.001164	0.115	874.99	2794.90	1919.90	2.3779	6.3932
210	19.0739	0.001173	0.104	897.73	2797.35	1899.62	2.4248	6.3565
215	21.0555	0.001181	0.095	920.61	2799.41	1878.80	2.4714	6.3202
220	23.1929	0.001190	0.086	943.64	2801.05	1857.41	2.5178	6.2842
225	25.4942	0.001199	0.078	966.84	2802.26	1835.42	2.5641	6.2485
230	27.9679	0.001209	0.072	990.21	2803.01	1812.80	2.6102	6.2131
235	30.6224	0.001219	0.065	1013.77	2803.28	1789.52	2.6561	6.1777
240	33.4665	0.001229	0.060	1037.52	2803.06	1765.54	2.7019	6.1425
245	36.5091	0.001240	0.055	1061.49	2802.31	1740.82	2.7477	6.1074
250	39.7594	0.001252	0.050	1085.69	2801.01	1715.33	2.7934	6.0722
255	43.2267	0.001264	0.046	1110.13	2799.13	1689.01	2.8391	6.0370
260	46.9207	0.001276	0.042	1134.83	2796.64	1661.82	2.8847	6.0017
265	50.8512	0.001289	0.039	1159.81	2793.51	1633.70	2.9304	5.9662
270	55.0284	0.001303	0.036	1185.09	2789.69	1604.60	2.9762	5.9304
275	59.4626	0.001318	0.033	1210.70	2785.14	1574.44	3.0221	5.8943
280	64.1646	0.001333	0.030	1236.67	2779.82	1543.15	3.0681	5.8578
285	69.1454	0.001349	0.028	1263.02	2773.67	1510.65	3.1143	5.8208
290	74.4164	0.001366	0.026	1289.80	2766.63	1476.84	3.1608	5.7832
295	79.9895	0.001385	0.024	1317.03	2758.63	1441.60	3.2076	5.7449
300	85.8771	0.001404	0.022	1344.77	2749.57	1404.80	3.2547	5.7058
310	98.6475	0.001448	0.018	1402.00	2727.92	1325.92	3.3506	5.6243
320	112.839	0.001499	0.015	1462.05	2700.67	1238.62	3.4491	5.5373
330	128.575	0.001561	0.013	1525.74	2666.25	1140.51	3.5516	5.4425
340	146.002	0.001638	0.011	1594.45	2622.07	1027.62	3.6599	5.3359
350	165.292	0.001740	0.009	1670.89	2563.63	892.74	3.7783	5.2109
360	186.664	0.001895	0.007	1761.49	2480.99	719.50	3.9164	5.0527
370	210.434	0.002222	0.005	1892.64	2333.50	440.86	4.1142	4.7996
373.95	220.064	0.00311	0.00311	2084.26	2084.26	0.00	4.4070	4.4070

الجدول 22: الخواص الترموديناميكية للماء R718 على خطي التكاثف والغليان

حسب الضغط

p [bar]	t [°C]	v' [m ³ /kg]	v'' [m ³ /kg]	i' [kJ/kg]	i'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kgK]	s'' [kJ/kgK]
0.01	6.97	0.001000	129.183	29.30	2513.68	2484.38	0.1059	8.9749
0.02	17.50	0.001001	66.990	73.43	2532.91	2459.48	0.2606	8.7227
0.03	24.08	0.001003	45.655	100.99	2544.88	2443.89	0.3543	8.5766
0.04	28.96	0.001004	34.792	121.40	2553.71	2432.31	0.4224	8.4735
0.05	32.88	0.001005	28.186	137.77	2560.77	2423.00	0.4763	8.3939
0.06	36.16	0.001006	23.734	151.49	2566.67	2415.17	0.5209	8.3291
0.08	41.51	0.001008	18.099	173.85	2576.24	2402.39	0.5925	8.2274
0.1	45.81	0.001010	14.671	191.81	2583.89	2392.07	0.6492	8.1489
0.11	47.68	0.001011	13.412	199.66	2587.21	2387.56	0.6737	8.1155
0.12	49.42	0.001012	12.359	206.91	2590.29	2383.37	0.6963	8.0850
0.14	52.55	0.001013	10.691	219.99	2595.80	2375.81	0.7366	8.0312
0.16	55.31	0.001015	9.431	231.55	2600.66	2369.11	0.7720	7.9847
0.18	57.80	0.001016	8.443	241.95	2605.01	2363.06	0.8035	7.9437
0.2	60.06	0.001017	7.648	251.40	2608.95	2357.55	0.8320	7.9072
0.25	64.96	0.001020	6.203	271.93	2617.45	2345.52	0.8931	7.8302
0.3	69.10	0.001022	5.229	289.23	2624.55	2335.32	0.9439	7.7675
0.5	81.32	0.001030	3.240	340.48	2645.21	2304.74	1.0910	7.5930
0.75	91.76	0.001037	2.217	384.37	2662.39	2278.02	1.2130	7.4557
1	99.61	0.001043	1.694	417.44	2674.95	2257.51	1.3026	7.3588
1.01325	99.97	0.001043	1.673	418.99	2675.53	2256.54	1.3067	7.3544
1.2	104.78	0.001047	1.428	439.30	2683.06	2243.76	1.3608	7.2976
1.4	109.29	0.001051	1.237	458.37	2689.99	2231.62	1.4109	7.2460
1.6	113.30	0.001054	1.091	475.34	2696.04	2220.71	1.4549	7.2014
2	120.21	0.001061	0.886	504.68	2706.24	2201.56	1.5301	7.1269
2.6	128.71	0.001068	0.693	540.88	2718.31	2177.42	1.6210	7.0393
3	133.53	0.001073	0.606	561.46	2724.89	2163.44	1.6718	6.9916
4	143.61	0.001084	0.462	604.72	2738.06	2133.33	1.7766	6.8954
5	151.84	0.001093	0.375	640.19	2748.11	2107.92	1.8606	6.8206
6	158.83	0.001101	0.316	670.50	2756.14	2085.64	1.9311	6.7592
8	170.41	0.001115	0.240	721.02	2768.30	2047.28	2.0460	6.6615
10	179.89	0.001127	0.194	762.68	2777.12	2014.44	2.1384	6.5850
12	187.96	0.001139	0.163	798.50	2783.77	1985.27	2.2163	6.5217
14	195.05	0.001149	0.141	830.13	2788.89	1958.76	2.2839	6.4675
16	201.38	0.001159	0.124	858.61	2792.88	1934.27	2.3438	6.4200
18	207.12	0.001168	0.110	884.61	2795.99	1911.37	2.3978	6.3776
20	212.38	0.001177	0.100	908.62	2798.38	1889.76	2.4470	6.3392
25	223.96	0.001197	0.080	961.98	2802.04	1840.06	2.5544	6.2560
30	233.86	0.001217	0.067	1008.37	2803.26	1794.89	2.6456	6.1858

40	250.36	0.001253	0.050	1087.43	2800.90	1713.47	2.7967	6.0697
50	263.94	0.001286	0.039	1154.50	2794.23	1639.73	2.9207	5.9737
60	275.59	0.001319	0.032	1213.73	2784.56	1570.83	3.0274	5.8901
70	285.83	0.001352	0.027	1267.44	2772.57	1505.13	3.1220	5.8146
80	295.01	0.001385	0.024	1317.08	2758.61	1441.53	3.2077	5.7448
90	303.35	0.001418	0.020	1363.65	2742.88	1379.23	3.2866	5.6790
100	311.00	0.001453	0.018	1407.87	2725.47	1317.61	3.3603	5.6159
110	318.08	0.001489	0.016	1450.28	2706.39	1256.12	3.4300	5.5545
120	324.68	0.001526	0.014	1491.33	2685.58	1194.26	3.4965	5.4941
130	330.86	0.001566	0.013	1531.40	2662.89	1131.49	3.5606	5.4339
140	336.67	0.001610	0.011	1570.88	2638.09	1067.21	3.6230	5.3730
150	342.16	0.001657	0.010	1610.15	2610.86	1000.71	3.6844	5.3108
160	347.36	0.001710	0.009	1649.67	2580.80	931.13	3.7457	5.2463
180	356.99	0.001840	0.007	1732.02	2509.53	777.51	3.8717	5.1055
200	365.75	0.002039	0.006	1827.10	2411.39	584.29	4.0154	4.9299
220	373.71	0.002750	0.004	2021.91	2164.20	142.29	4.3109	4.5308





جداول الخواص الفيزيوقحرارية لبعض وسائط التبريد بالواحدات الدولية

- الجدول 23: الخواص الفيزيوقحرارية للفرينون R12 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة
- الجدول 24: الخواص الفيزيوقحرارية للفرينون R22 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة
- الجدول 25: الخواص الفيزيوقحرارية للفرينون R23 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة
- الجدول 26: الخواص الفيزيوقحرارية للفرينون R134a على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة
- الجدول 27: الخواص الفيزيوقحرارية للفرينون R404A على خطي التكاثف والغليان حسب الضغط
- الجدول 28: الخواص الفيزيوقحرارية للفرينون R410A على خطي التكاثف والغليان حسب الضغط
- الجدول 29: الخواص الفيزيوقحرارية للأمونيا R717 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة
- الجدول 30: الخواص الفيزيوقحرارية لثاني أوكسيد الكربون R744 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة
- الجدول 31: الخواص الفيزيوقحرارية للفرينون R502 على خطي التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة



الجدول 23: الخواص الفيزيائية للبريون R12 على خطي التكاثف والغليان
حسب درجة الحرارة

t [°C]	p [bar]	c'_p [kJ/kgK]	c''_p [kJ/kgK]	μ' [Pa s]	μ'' [Pa s]	λ' [W/mK]	λ'' [W/mK]	σ [N/m]
-100.00	0.0119	0.819	0.449	0.0010050	0.00000678	0.1167	0.00427	0.02648
-90.00	0.0286	0.824	0.465	0.0008190	0.00000718	0.1120	0.00467	0.02490
-80.00	0.0619	0.831	0.481	0.0006849	0.00000758	0.1074	0.00508	0.02335
-70.00	0.1228	0.840	0.497	0.0005840	0.00000797	0.1030	0.00550	0.02181
-60.00	0.2261	0.850	0.513	0.0005051	0.00000837	0.0988	0.00593	0.02030
-50.00	0.3911	0.861	0.530	0.0004418	0.00000876	0.0947	0.00638	0.01881
-40.00	0.6409	0.873	0.548	0.0003898	0.00000916	0.0907	0.00684	0.01735
-30.00	1.0026	0.886	0.566	0.0003462	0.00000955	0.0869	0.00732	0.01591
-29.75	1.0133	0.887	0.567	0.0003452	0.00000956	0.0868	0.00733	0.01588
-28.00	1.091	0.889	0.570	0.0003383	0.00000963	0.0861	0.00741	0.01563
-26.00	1.1854	0.892	0.574	0.0003306	0.00000971	0.0853	0.00751	0.01535
-24.00	1.286	0.895	0.578	0.0003232	0.00000979	0.0846	0.00761	0.01506
-22.00	1.3931	0.898	0.582	0.0003160	0.00000987	0.0838	0.00771	0.01478
-20.00	1.507	0.901	0.586	0.0003090	0.00000995	0.0831	0.00780	0.01450
-18.00	1.6279	0.904	0.590	0.0003022	0.00001003	0.0824	0.00790	0.01423
-16.00	1.7562	0.907	0.594	0.0002956	0.00001010	0.0816	0.00801	0.01395
-14.00	1.892	0.910	0.598	0.0002892	0.00001018	0.0809	0.00811	0.01367
-12.00	2.0358	0.913	0.602	0.0002830	0.00001026	0.0802	0.00821	0.01340
-10.00	2.1878	0.917	0.607	0.0002769	0.00001034	0.0794	0.00831	0.01312
-8.00	2.3483	0.920	0.611	0.0002710	0.00001042	0.0787	0.00841	0.01285
-6.00	2.5176	0.923	0.616	0.0002652	0.00001050	0.0780	0.00852	0.01258
-4.00	2.696	0.927	0.620	0.0002596	0.00001058	0.0773	0.00862	0.01231
-2.00	2.8839	0.930	0.625	0.0002541	0.00001066	0.0766	0.00873	0.01204
0.00	3.0815	0.934	0.630	0.0002487	0.00001074	0.0759	0.00884	0.01177
2.00	3.2891	0.938	0.635	0.0002435	0.00001082	0.0751	0.00895	0.01151
4.00	3.5071	0.942	0.640	0.0002384	0.00001090	0.0744	0.00906	0.01124
6.00	3.7358	0.946	0.645	0.0002334	0.00001098	0.0737	0.00917	0.01098
8.00	3.9756	0.950	0.650	0.0002286	0.00001107	0.0730	0.00928	0.01071
10.00	4.2267	0.954	0.656	0.0002238	0.00001115	0.0723	0.00939	0.01045
12.00	4.4895	0.958	0.661	0.0002191	0.00001123	0.0716	0.00951	0.01019
14.00	4.7643	0.962	0.667	0.0002146	0.00001131	0.0709	0.00962	0.00994
16.00	5.0514	0.967	0.672	0.0002101	0.00001140	0.0702	0.00974	0.00968
18.00	5.3513	0.971	0.678	0.0002057	0.00001148	0.0696	0.00986	0.00942
20.00	5.6642	0.976	0.685	0.0002014	0.00001157	0.0689	0.00998	0.00917
22.00	5.9905	0.981	0.691	0.0001972	0.00001165	0.0682	0.01010	0.00892
24.00	6.3305	0.986	0.697	0.0001931	0.00001174	0.0675	0.01023	0.00867
26.00	6.6846	0.991	0.704	0.0001890	0.00001183	0.0668	0.01036	0.00842
28.00	7.0531	0.997	0.711	0.0001850	0.00001192	0.0661	0.01049	0.00817

30.00	7.4365	1.002	0.718	0.0001811	0.00001201	0.0654	0.01062	0.00792
32.00	7.835	1.008	0.726	0.0001773	0.00001210	0.0648	0.01075	0.00768
34.00	8.2491	1.014	0.734	0.0001735	0.00001219	0.0641	0.01089	0.00743
36.00	8.6791	1.020	0.742	0.0001698	0.00001228	0.0634	0.01103	0.00719
38.00	9.1253	1.026	0.750	0.0001661	0.00001238	0.0627	0.01118	0.00695
40.00	9.5882	1.033	0.759	0.0001625	0.00001248	0.0621	0.01133	0.00672
42.00	10.068	1.040	0.768	0.0001590	0.00001257	0.0614	0.01148	0.00648
44.00	10.566	1.048	0.778	0.0001555	0.00001267	0.0607	0.01163	0.00625
46.00	11.081	1.055	0.788	0.0001520	0.00001278	0.0600	0.01179	0.00601
48.00	11.614	1.063	0.798	0.0001486	0.00001288	0.0594	0.01196	0.00578
50.00	12.166	1.072	0.810	0.0001453	0.00001299	0.0587	0.01213	0.00555
52.00	12.737	1.081	0.821	0.0001419	0.00001310	0.0580	0.01231	0.00533
54.00	13.327	1.090	0.834	0.0001387	0.00001321	0.0573	0.01249	0.00510
56.00	13.938	1.100	0.847	0.0001354	0.00001333	0.0567	0.01268	0.00488
58.00	14.568	1.111	0.861	0.0001322	0.00001345	0.0560	0.01287	0.00466
60.00	15.219	1.122	0.876	0.0001291	0.00001357	0.0553	0.01308	0.00444
62.00	15.892	1.135	0.892	0.0001259	0.00001370	0.0547	0.01329	0.00423
64.00	16.586	1.148	0.910	0.0001228	0.00001383	0.0540	0.01351	0.00401
66.00	17.302	1.162	0.929	0.0001197	0.00001396	0.0533	0.01375	0.00380
68.00	18.041	1.177	0.949	0.0001167	0.00001411	0.0526	0.01399	0.00359
70.00	18.802	1.193	0.971	0.0001136	0.00001426	0.0520	0.01425	0.00339
75.00	20.811	1.241	1.037	0.0001061	0.00001466	0.0503	0.01496	0.00288
80.00	22.975	1.302	1.122	0.0000986	0.00001511	0.0487	0.01580	0.00240
85.00	25.304	1.384	1.239	0.0000911	0.00001565	0.0472	0.01682	0.00193
90.00	27.808	1.501	1.410	0.0000834	0.00001629	0.0459	0.01811	0.00149
95.00	30.501	1.679	1.683	0.0000756	0.00001711	0.0451	0.01981	0.00107
100.00	33.399	1.996	2.192	0.0000673	0.00001820	0.0457	0.02227	0.00069
105.00	36.525	2.754	3.458	0.0000581	0.00001987	0.0517	0.02634	0.00035
110.00	39.924	7.81	11.440	0.0000463	0.00002346	0.1137	0.03946	0.00007
111.97	41.361	∞	∞	----	----	∞	∞	0.00000

الجدول 24: الخواص الفيزيوقحرارية للفرينون R22 على خطي التكاثف والغليان

حسب درجة الحرارة

t [°C]	p [bar]	c'_p [kJ/kgK]	c''_p [kJ/kgK]	μ' [Pa s]	μ'' [Pa s]	λ' [W/mK]	λ'' [W/mK]	σ [N/m]
-100.00	0.0201	1.061	0.497	0.0008458	0.00000725	0.1431	0.00446	0.02812
-90.00	0.0481	1.061	0.512	0.0006994	0.00000767	0.1378	0.00484	0.02636
-80.00	0.1037	1.062	0.528	0.0005910	0.00000809	0.1326	0.00525	0.02463
-70.00	0.2047	1.065	0.545	0.0005076	0.00000852	0.1276	0.00568	0.02292
-60.00	0.375	1.071	0.564	0.0004414	0.00000894	0.1226	0.00612	0.02124
-50.00	0.6453	1.079	0.585	0.0003875	0.00000936	0.1178	0.00659	0.01958
-48.00	0.7145	1.081	0.589	0.0003778	0.00000945	0.1169	0.00669	0.01925
-46.00	0.7894	1.083	0.594	0.0003686	0.00000953	0.1159	0.00679	0.01892
-44.00	0.8705	1.086	0.599	0.0003596	0.00000962	0.1150	0.00689	0.01859
-42.00	0.958	1.088	0.603	0.0003510	0.00000970	0.1140	0.00699	0.01827
-40.81	1.0132	1.090	0.606	0.0003460	0.00000975	0.1135	0.00705	0.01808
-40.00	1.0523	1.091	0.608	0.0003426	0.00000979	0.1131	0.00709	0.01794
-38.00	1.1538	1.093	0.613	0.0003345	0.00000987	0.1122	0.00719	0.01762
-36.00	1.2628	1.096	0.619	0.0003267	0.00000996	0.1112	0.00729	0.01730
-34.00	1.3797	1.099	0.624	0.0003191	0.00001004	0.1103	0.00740	0.01698
-32.00	1.505	1.102	0.629	0.0003117	0.00001012	0.1094	0.00751	0.01666
-30.00	1.6389	1.105	0.635	0.0003046	0.00001021	0.1085	0.00761	0.01634
-28.00	1.7819	1.108	0.641	0.0002977	0.00001029	0.1075	0.00772	0.01602
-26.00	1.9344	1.112	0.646	0.0002910	0.00001038	0.1066	0.00783	0.01570
-24.00	2.0968	1.115	0.653	0.0002844	0.00001046	0.1057	0.00794	0.01539
-22.00	2.2696	1.119	0.659	0.0002781	0.00001055	0.1048	0.00806	0.01507
-20.00	2.4531	1.123	0.665	0.0002719	0.00001063	0.1039	0.00817	0.01476
-18.00	2.6479	1.127	0.672	0.0002659	0.00001072	0.1030	0.00829	0.01445
-16.00	2.8543	1.131	0.678	0.0002601	0.00001080	0.1021	0.00840	0.01414
-14.00	3.0728	1.135	0.685	0.0002544	0.00001089	0.1011	0.00852	0.01383
-12.00	3.3038	1.139	0.692	0.0002488	0.00001098	0.1002	0.00865	0.01352
-10.00	3.5479	1.144	0.699	0.0002434	0.00001106	0.0993	0.00877	0.01321
-8.00	3.8054	1.149	0.707	0.0002381	0.00001115	0.0984	0.00889	0.01291
-6.00	4.0769	1.154	0.715	0.0002330	0.00001124	0.0975	0.00902	0.01260
-4.00	4.3628	1.159	0.722	0.0002279	0.00001132	0.0966	0.00915	0.01230
-2.00	4.6636	1.164	0.731	0.0002230	0.00001141	0.0957	0.00928	0.01200
0.00	4.9799	1.169	0.739	0.0002182	0.00001150	0.0948	0.00942	0.01170
2.00	5.312	1.175	0.748	0.0002135	0.00001159	0.0939	0.00956	0.01140
4.00	5.6605	1.181	0.757	0.0002089	0.00001168	0.0931	0.00970	0.01110
6.00	6.0259	1.187	0.766	0.0002044	0.00001177	0.0922	0.00984	0.01081
8.00	6.4088	1.193	0.775	0.0002000	0.00001186	0.0913	0.00999	0.01051
10.00	6.8095	1.199	0.785	0.0001957	0.00001196	0.0904	0.01014	0.01022
12.00	7.2286	1.206	0.795	0.0001915	0.00001205	0.0895	0.01029	0.00993

14.00	7.6668	1.213	0.806	0.0001873	0.00001214	0.0886	0.01045	0.00964
16.00	8.1244	1.220	0.817	0.0001832	0.00001224	0.0877	0.01061	0.00935
18.00	8.602	1.228	0.828	0.0001792	0.00001233	0.0868	0.01077	0.00906
20.00	9.1002	1.236	0.840	0.0001753	0.00001243	0.0859	0.01095	0.00878
22.00	9.6195	1.244	0.853	0.0001715	0.00001253	0.0850	0.01112	0.00850
24.00	10.16	1.252	0.866	0.0001677	0.00001263	0.0841	0.01130	0.00822
26.00	10.724	1.261	0.879	0.0001639	0.00001274	0.0832	0.01149	0.00794
28.00	11.309	1.271	0.893	0.0001603	0.00001284	0.0823	0.01169	0.00766
30.00	11.919	1.281	0.908	0.0001567	0.00001295	0.0814	0.01189	0.00738
32.00	12.552	1.291	0.924	0.0001531	0.00001306	0.0805	0.01210	0.00711
34.00	13.21	1.302	0.940	0.0001496	0.00001317	0.0796	0.01231	0.00684
36.00	13.892	1.314	0.957	0.0001461	0.00001328	0.0787	0.01254	0.00657
38.00	14.601	1.326	0.976	0.0001427	0.00001340	0.0778	0.01277	0.00630
40.00	15.336	1.339	0.995	0.0001394	0.00001352	0.0769	0.01302	0.00604
42.00	16.098	1.353	1.015	0.0001361	0.00001364	0.0760	0.01328	0.00577
44.00	16.887	1.368	1.037	0.0001328	0.00001377	0.0751	0.01355	0.00551
46.00	17.704	1.384	1.061	0.0001295	0.00001390	0.0741	0.01383	0.00525
48.00	18.551	1.401	1.086	0.0001263	0.00001404	0.0732	0.01413	0.00500
50.00	19.427	1.419	1.113	0.0001231	0.00001418	0.0723	0.01445	0.00474
52.00	20.333	1.439	1.142	0.0001200	0.00001432	0.0714	0.01478	0.00449
54.00	21.27	1.461	1.173	0.0001169	0.00001447	0.0704	0.01514	0.00424
56.00	22.239	1.485	1.208	0.0001138	0.00001463	0.0695	0.01552	0.00400
58.00	23.24	1.511	1.246	0.0001107	0.00001480	0.0686	0.01592	0.00375
60.00	24.275	1.539	1.287	0.0001076	0.00001498	0.0676	0.01636	0.00351
65.00	27.012	1.626	1.413	0.0001000	0.00001546	0.0653	0.01761	0.00292
70.00	29.974	1.743	1.584	0.0000924	0.00001602	0.0629	0.01916	0.00236
75.00	33.177	1.913	1.832	0.0000846	0.00001670	0.0606	0.02116	0.00182
80.00	36.638	2.181	2.231	0.0000766	0.00001755	0.0586	0.02387	0.00130
85.00	40.378	2.682	2.984	0.0000681	0.00001871	0.0574	0.02782	0.00083
90.00	44.423	3.981	4.975	0.0000583	0.00002048	0.0593	0.03455	0.00040
95.00	48.824	17.31	25.29	0.0000444	0.00002476	0.0835	0.05915	0.00005
96.15	49.900	∞	∞	----	----	∞	0.00000	0.00000

الجدول 25: الخواص الفيزيوقحرارية للفرينون R23 على خطي التكاثف والغليان
حسب درجة الحرارة

t [°C]	p [bar]	c'_p [kJ/kgK]	c''_p [kJ/kgK]	μ' [Pa s]	μ'' [Pa s]	λ' [W/mK]	λ'' [W/mK]	σ [N/m]
-155.13	0.0006	1.221	0.500	0.0020550	0.00000535	0.2686	0.0038	0.03437
-150	0.0014	1.205	0.506	0.0016620	0.00000564	0.2502	0.0041	0.03312
-140	0.0060	1.195	0.522	0.0011530	0.00000622	0.2209	0.0046	0.03071
-130	0.0206	1.195	0.541	0.0008459	0.00000680	0.1982	0.0052	0.02835
-120	0.0588	1.199	0.565	0.0006483	0.00000737	0.1801	0.0057	0.02603
-110	0.1447	1.205	0.593	0.0005144	0.00000793	0.1653	0.0063	0.02375
-100	0.3157	1.213	0.625	0.0004192	0.00000848	0.1529	0.0068	0.02153
-90	0.6239	1.225	0.661	0.0003490	0.00000903	0.1424	0.0074	0.01935
-82.02	1.0132	1.237	0.694	0.0003051	0.00000947	0.1350	0.0079	0.01765
-80	1.1370	1.241	0.702	0.0002953	0.00000958	0.1332	0.0081	0.01723
-78	1.2712	1.245	0.711	0.0002861	0.00000969	0.1315	0.0082	0.01681
-76	1.4175	1.249	0.721	0.0002772	0.00000980	0.1298	0.0083	0.01640
-74	1.5768	1.253	0.730	0.0002688	0.00000991	0.1282	0.0085	0.01598
-72	1.7496	1.258	0.740	0.0002607	0.00001001	0.1266	0.0086	0.01557
-70	1.9370	1.262	0.750	0.0002530	0.00001012	0.1251	0.0087	0.01516
-68	2.1395	1.267	0.760	0.0002456	0.00001023	0.1235	0.0089	0.01476
-66	2.3582	1.272	0.771	0.0002385	0.00001034	0.1220	0.0090	0.01436
-64	2.5937	1.278	0.782	0.0002316	0.00001045	0.1205	0.0092	0.01396
-62	2.8469	1.283	0.793	0.0002251	0.00001056	0.1191	0.0093	0.01356
-60	3.1188	1.290	0.805	0.0002187	0.00001067	0.1177	0.0095	0.01316
-58	3.4102	1.296	0.817	0.0002126	0.00001078	0.1162	0.0096	0.01277
-56	3.7220	1.303	0.830	0.0002067	0.00001089	0.1149	0.0098	0.01238
-54	4.0552	1.310	0.843	0.0002011	0.00001100	0.1135	0.0100	0.01199
-52	4.4106	1.317	0.856	0.0001956	0.00001111	0.1121	0.0101	0.01161
-50	4.7893	1.325	0.870	0.0001903	0.00001122	0.1108	0.0103	0.01122
-48	5.1921	1.333	0.885	0.0001851	0.00001134	0.1095	0.0105	0.01085
-46	5.6201	1.342	0.900	0.0001801	0.00001145	0.1082	0.0107	0.01047
-44	6.0743	1.351	0.915	0.0001753	0.00001157	0.1069	0.0109	0.01010
-42	6.5557	1.361	0.932	0.0001706	0.00001168	0.1056	0.0110	0.00973
-40	7.0653	1.371	0.949	0.0001660	0.00001180	0.1043	0.0112	0.00936
-38	7.6042	1.382	0.967	0.0001616	0.00001192	0.1031	0.0115	0.00900
-36	8.1734	1.393	0.985	0.0001573	0.00001204	0.1018	0.0117	0.00864
-34	8.7740	1.405	1.005	0.0001531	0.00001216	0.1005	0.0119	0.00828
-32	9.4071	1.418	1.026	0.0001490	0.00001229	0.0993	0.0121	0.00793
-30	10.0740	1.432	1.048	0.0001449	0.00001242	0.0980	0.0123	0.00758
-28	10.7750	1.447	1.072	0.0001410	0.00001255	0.0968	0.0126	0.00723
-26	11.5130	1.462	1.097	0.0001372	0.00001268	0.0955	0.0128	0.00689
-24	12.2880	1.479	1.123	0.0001334	0.00001281	0.0943	0.0131	0.00655

-22	13.1000	1.497	1.152	0.0001297	0.00001295	0.0931	0.0134	0.00621
-20	13.9530	1.517	1.182	0.0001261	0.00001310	0.0918	0.0136	0.00588
-18	14.8460	1.538	1.215	0.0001226	0.00001325	0.0905	0.0139	0.00556
-16	15.7810	1.561	1.251	0.0001191	0.00001340	0.0893	0.0142	0.00523
-14	16.7600	1.586	1.290	0.0001156	0.00001356	0.0880	0.0146	0.00492
-12	17.7840	1.613	1.333	0.0001122	0.00001373	0.0867	0.0149	0.00460
-10	18.8530	1.643	1.38	0.0001089	0.00001390	0.0854	0.0152	0.00429
-8	19.9710	1.676	1.432	0.0001056	0.00001409	0.0841	0.0156	0.00399
-6	21.1370	1.712	1.491	0.0001023	0.00001428	0.0827	0.0160	0.00369
-4	22.3540	1.754	1.556	0.0000990	0.00001449	0.0814	0.0164	0.00340
-2	23.6240	1.800	1.630	0.0000958	0.00001471	0.0800	0.0168	0.00311
0	24.9470	1.853	1.715	0.0000925	0.00001494	0.0785	0.0173	0.00283
2	26.3260	1.915	1.814	0.0000893	0.00001519	0.0771	0.0178	0.00255
4	27.7620	1.986	1.929	0.0000861	0.00001547	0.0756	0.0183	0.00228
6	29.2590	2.071	2.067	0.0000828	0.00001577	0.0740	0.0189	0.00202
8	30.8170	2.173	2.234	0.0000796	0.00001610	0.0724	0.0195	0.00176
10	32.4380	2.300	2.441	0.0000762	0.00001647	0.0707	0.0202	0.00152
12	34.1270	2.461	2.704	0.0000729	0.00001689	0.0689	0.0210	0.00128
14	35.8850	2.673	3.053	0.0000694	0.00001738	0.0670	0.0218	0.00105
16	37.7150	2.966	3.536	0.0000658	0.00001795	0.0650	0.0228	0.00083
18	39.6220	3.404	4.252	0.0000620	0.00001864	0.0627	0.0239	0.00063
20	41.6100	4.130	5.429	0.0000579	0.00001951	0.0602	0.0253	0.00044
25	46.9860	18.870	26.84	0.0000443	0.00002479	0.0534	0.0352	0.00005
26.14	48.3200	∞	∞	----	----	∞	∞	0.00000

الجدول 26: الخواص الفيزيوقحرارية للفرين R134a على خطي التكاثف والغليان

حسب درجة الحرارة

t [°C]	p [bar]	c'_p [kJ/kgK]	c''_p [kJ/kgK]	μ' [Pa s]	μ'' [Pa s]	λ' [W/mK]	λ'' [W/mK]	σ [N/m]
-103.30	0.0039	1.184	0.585	0.0021750	0.00000646	0.1452	0.00308	0.02807
-100.00	0.0056	1.184	0.593	0.0018930	0.00000660	0.1432	0.00334	0.02750
-90.00	0.0152	1.189	0.617	0.0013390	0.00000703	0.1373	0.00415	0.02579
-80.00	0.0367	1.198	0.642	0.0010180	0.00000746	0.1315	0.00495	0.02410
-70.00	0.0798	1.210	0.667	0.0008092	0.00000789	0.1260	0.00575	0.02244
-60.00	0.1591	1.223	0.692	0.0006631	0.00000830	0.1207	0.00656	0.02080
-50.00	0.2945	1.238	0.720	0.0005551	0.00000872	0.1156	0.00736	0.01918
-40.00	0.5121	1.255	0.749	0.0004722	0.00000912	0.1106	0.00817	0.01760
-30.00	0.8438	1.273	0.781	0.0004064	0.00000952	0.1058	0.00899	0.01604
-28.00	0.927	1.277	0.788	0.0003949	0.00000960	0.1048	0.00915	0.01573
-26.07	1.0133	1.281	0.794	0.0003842	0.00000968	0.1039	0.00931	0.01544
-26.00	1.0167	1.281	0.794	0.0003838	0.00000968	0.1039	0.00932	0.01543
-24.00	1.113	1.285	0.801	0.0003731	0.00000977	0.1029	0.00948	0.01512
-22.00	1.2165	1.289	0.809	0.0003629	0.00000985	0.1020	0.00965	0.01482
-20.00	1.3273	1.293	0.816	0.0003530	0.00000992	0.1011	0.00982	0.01451
-18.00	1.446	1.297	0.823	0.0003435	0.00001001	0.1001	0.00998	0.01421
-16.00	1.5728	1.302	0.831	0.0003343	0.00001009	0.0992	0.01015	0.01391
-14.00	1.7082	1.306	0.838	0.0003254	0.00001017	0.0983	0.01032	0.01361
-12.00	1.8524	1.311	0.846	0.0003169	0.00001025	0.0974	0.01049	0.01332
-10.00	2.006	1.316	0.854	0.0003086	0.00001033	0.0965	0.01066	0.01302
-8.00	2.1693	1.320	0.863	0.0003006	0.00001041	0.0956	0.01083	0.01272
-6.00	2.3428	1.325	0.871	0.0002929	0.00001049	0.0947	0.01100	0.01243
-4.00	2.5268	1.330	0.880	0.0002854	0.00001057	0.0938	0.01117	0.01214
-2.00	2.7217	1.336	0.888	0.0002781	0.00001065	0.0929	0.01134	0.01185
0.00	2.928	1.341	0.897	0.0002711	0.00001073	0.0920	0.01151	0.01156
2.00	3.1462	1.347	0.906	0.0002643	0.00001081	0.0911	0.01169	0.01127
4.00	3.3766	1.352	0.916	0.0002576	0.00001090	0.0902	0.01186	0.01099
6.00	3.6198	1.358	0.925	0.0002512	0.00001098	0.0894	0.01204	0.01070
8.00	3.8761	1.364	0.935	0.0002449	0.00001106	0.0885	0.01222	0.01042
10.00	4.1461	1.370	0.945	0.0002388	0.00001115	0.0876	0.01240	0.01014
12.00	4.4301	1.377	0.956	0.0002329	0.00001123	0.0867	0.01258	0.00986
14.00	4.7288	1.383	0.967	0.0002271	0.00001132	0.0859	0.01277	0.00958
16.00	5.0425	1.390	0.978	0.0002215	0.00001140	0.0850	0.01295	0.00930
18.00	5.3718	1.397	0.989	0.0002160	0.00001149	0.0841	0.01314	0.00903
20.00	5.7171	1.405	1.001	0.0002107	0.00001158	0.0833	0.01333	0.00876
22.00	6.0789	1.413	1.013	0.0002055	0.00001167	0.0824	0.01353	0.00848
24.00	6.4578	1.421	1.025	0.0002004	0.00001176	0.0816	0.01372	0.00821
26.00	6.8543	1.429	1.038	0.0001954	0.00001185	0.0807	0.01392	0.00795

28.00	7.2688	1.437	1.052	0.0001905	0.00001195	0.0798	0.01413	0.00768
30.00	7.702	1.446	1.065	0.0001858	0.00001204	0.0790	0.01433	0.00742
32.00	8.1543	1.456	1.080	0.0001811	0.00001214	0.0781	0.01454	0.00715
34.00	8.6263	1.466	1.095	0.0001766	0.00001224	0.0773	0.01476	0.00689
36.00	9.1185	1.476	1.111	0.0001721	0.00001234	0.0764	0.01498	0.00664
38.00	9.6315	1.487	1.127	0.0001677	0.00001244	0.0756	0.01521	0.00638
40.00	10.166	1.498	1.145	0.0001634	0.00001255	0.0747	0.01544	0.00613
42.00	10.722	1.510	1.163	0.0001592	0.00001265	0.0739	0.01568	0.00588
44.00	11.301	1.523	1.182	0.0001551	0.00001276	0.0730	0.01593	0.00563
46.00	11.903	1.537	1.202	0.0001510	0.00001288	0.0721	0.01618	0.00538
48.00	12.529	1.551	1.223	0.0001470	0.00001300	0.0713	0.01645	0.00513
50.00	13.179	1.566	1.246	0.0001431	0.00001312	0.0704	0.01672	0.00489
52.00	13.854	1.582	1.270	0.0001392	0.00001324	0.0696	0.01701	0.00465
54.00	14.555	1.600	1.296	0.0001354	0.00001337	0.0687	0.01731	0.00441
56.00	15.282	1.618	1.324	0.0001316	0.00001351	0.0678	0.01763	0.00418
58.00	16.036	1.638	1.354	0.0001279	0.00001365	0.0670	0.01796	0.00395
60.00	16.818	1.660	1.387	0.0001242	0.00001379	0.0661	0.01831	0.00372
62.00	17.628	1.684	1.422	0.0001206	0.00001395	0.0652	0.01868	0.00349
64.00	18.467	1.710	1.461	0.0001170	0.00001411	0.0643	0.01907	0.00327
66.00	19.337	1.738	1.504	0.0001135	0.00001428	0.0634	0.01950	0.00305
68.00	20.237	1.769	1.552	0.0001099	0.00001446	0.0626	0.01995	0.00283
70.00	21.168	1.804	1.605	0.0001064	0.00001465	0.0617	0.02045	0.00261
72.00	22.132	1.843	1.665	0.0001029	0.00001485	0.0608	0.02098	0.00240
74.00	23.13	1.887	1.734	0.0000995	0.00001507	0.0599	0.02156	0.00220
76.00	24.161	1.938	1.812	0.0000960	0.00001530	0.0590	0.02221	0.00199
78.00	25.228	1.996	1.904	0.0000925	0.00001556	0.0581	0.02292	0.00180
80.00	26.332	2.065	2.012	0.0000890	0.00001584	0.0572	0.02372	0.00160
85.00	29.258	2.306	2.397	0.0000802	0.00001667	0.0549	0.02622	0.00114
90.00	32.442	2.756	3.121	0.0000709	0.00001781	0.0528	0.02991	0.00071
95.00	35.912	3.938	5.020	0.0000604	0.00001961	0.0517	0.03640	0.00033
100.00	39.724	17.59	25.35	0.0000451	0.00002421	0.0599	0.06058	0.00004
101.06	40.593	∞	∞	----	----	∞	∞	0.00000

الجدول 27: الخواص الفيزيائية للفرين R404A على خطي التكاثف

والغليان حسب الضغط

p [bar]	t_{Bubble} [°C]	t_{Dew} [°C]	c'_p [kJ/kgK]	c''_p [kJ/kgK]	μ' [Pa s]	μ'' [Pa s]	λ' [W/mK]	λ'' [W/mK]	σ [N/m]
0.05	-93.70	-92.50	1.220	0.640	0.0007649	0.00000732	0.1225	0.00615	0.01778
0.06	-91.48	-90.32	1.218	0.646	0.0007278	0.00000741	0.1212	0.00628	0.01758
0.07	-89.56	-88.42	1.216	0.651	0.0006979	0.00000748	0.1201	0.00640	0.01740
0.08	-87.86	-86.74	1.215	0.655	0.0006730	0.00000755	0.1192	0.00650	0.01724
0.09	-86.32	-85.22	1.214	0.660	0.0006517	0.00000761	0.1183	0.00660	0.01709
0.1	-84.93	-83.84	1.214	0.663	0.0006333	0.00000766	0.1175	0.00668	0.01696
0.2	-75.05	-74.08	1.215	0.691	0.0005237	0.00000804	0.1122	0.00731	0.01600
0.4	-63.85	-62.97	1.225	0.725	0.0004313	0.00000847	0.1064	0.00805	0.01485
0.6	-56.57	-55.75	1.234	0.749	0.0003838	0.00000874	0.1028	0.00855	0.01408
0.8	-51.03	-50.25	1.243	0.767	0.0003527	0.00000895	0.1001	0.00893	0.01348
1	-46.50	-45.74	1.251	0.784	0.0003298	0.00000912	0.0980	0.00925	0.01298
1.0132	-46.22	-45.47	1.252	0.785	0.0003285	0.00000913	0.0978	0.00927	0.01295
1.2	-42.63	-41.90	1.259	0.798	0.0003119	0.00000926	0.0962	0.00953	0.01255
1.4	-39.24	-38.53	1.266	0.811	0.0002973	0.00000939	0.0946	0.00978	0.01217
1.6	-36.20	-35.51	1.273	0.823	0.0002850	0.00000950	0.0932	0.01001	0.01182
1.8	-33.45	-32.78	1.279	0.834	0.0002744	0.00000960	0.0919	0.01021	0.01151
2	-30.93	-30.27	1.285	0.844	0.0002651	0.00000969	0.0908	0.01040	0.01121
2.2	-28.59	-27.94	1.291	0.855	0.0002569	0.00000978	0.0897	0.01058	0.01094
2.4	-26.42	-25.78	1.297	0.864	0.0002495	0.00000986	0.0887	0.01075	0.01069
2.6	-24.37	-23.75	1.303	0.873	0.0002428	0.00000994	0.0878	0.01091	0.01045
2.8	-22.45	-21.83	1.308	0.882	0.0002367	0.00001001	0.0870	0.01106	0.01022
3	-20.62	-20.02	1.313	0.891	0.0002311	0.00001008	0.0862	0.01121	0.01001
3.2	-18.89	-18.29	1.319	0.899	0.0002259	0.00001015	0.0854	0.01134	0.00981
3.4	-17.24	-16.65	1.324	0.907	0.0002211	0.00001021	0.0847	0.01148	0.00961
3.6	-15.66	-15.08	1.329	0.915	0.0002166	0.00001027	0.0840	0.01161	0.00942
3.8	-14.15	-13.57	1.334	0.923	0.0002124	0.00001033	0.0833	0.01173	0.00924
4	-12.69	-12.12	1.339	0.931	0.0002084	0.00001039	0.0827	0.01185	0.00907
4.2	-11.29	-10.73	1.344	0.938	0.0002047	0.00001044	0.0821	0.01197	0.00890
4.4	-9.94	-9.39	1.349	0.946	0.0002012	0.00001049	0.0815	0.01208	0.00874
4.6	-8.64	-8.09	1.353	0.953	0.0001978	0.00001055	0.0810	0.01219	0.00858
4.8	-7.37	-6.83	1.358	0.960	0.0001946	0.00001060	0.0804	0.01230	0.00843
5	-6.15	-5.61	1.363	0.967	0.0001916	0.00001065	0.0799	0.01241	0.00828
5.5	-3.24	-2.72	1.374	0.984	0.0001846	0.00001077	0.0787	0.01266	0.00793
6	-0.53	-0.02	1.386	1.001	0.0001782	0.00001088	0.0775	0.01291	0.00761
6.5	2.02	2.52	1.397	1.018	0.0001725	0.00001099	0.0765	0.01316	0.00730
7	4.42	4.91	1.409	1.034	0.0001672	0.00001110	0.0755	0.01341	0.00701
7.5	6.70	7.18	1.420	1.051	0.0001624	0.00001120	0.0745	0.01365	0.00674
8	8.87	9.34	1.432	1.067	0.0001579	0.00001130	0.0736	0.01389	0.00648

8.5	10.94	11.40	1.443	1.084	0.0001536	0.00001140	0.0728	0.01412	0.00623
9	12.92	13.37	1.455	1.100	0.0001497	0.00001150	0.0720	0.01435	0.00599
9.5	14.81	15.26	1.466	1.117	0.0001460	0.00001159	0.0712	0.01459	0.00576
10	16.64	17.08	1.478	1.134	0.0001425	0.00001169	0.0704	0.01482	0.00554
11	20.09	20.52	1.503	1.169	0.0001361	0.00001188	0.0690	0.01529	0.00513
12	23.32	23.73	1.528	1.206	0.0001302	0.00001207	0.0677	0.01576	0.00475
13	26.35	26.75	1.554	1.244	0.0001249	0.00001226	0.0665	0.01623	0.00439
14	29.22	29.60	1.582	1.285	0.0001199	0.00001245	0.0653	0.01671	0.00406
15	31.93	32.30	1.611	1.329	0.0001153	0.00001265	0.0642	0.01721	0.00375
16	34.51	34.87	1.643	1.376	0.0001110	0.00001284	0.0631	0.01772	0.00345
17	36.97	37.32	1.676	1.426	0.0001070	0.00001305	0.0621	0.01824	0.00317
18	39.33	39.67	1.712	1.481	0.0001032	0.00001325	0.0612	0.01880	0.00291
19	41.58	41.91	1.751	1.541	0.0000995	0.00001347	0.0602	0.01937	0.00266
20	43.75	44.07	1.794	1.607	0.0000961	0.00001370	0.0593	0.01998	0.00243
21	45.84	46.15	1.841	1.681	0.0000927	0.00001393	0.0585	0.02062	0.00221
22	47.85	48.15	1.893	1.763	0.0000895	0.00001418	0.0576	0.02131	0.00200
23	49.80	50.08	1.952	1.856	0.0000865	0.00001444	0.0568	0.02204	0.00180
24	51.68	51.95	2.019	1.962	0.0000835	0.00001472	0.0560	0.02283	0.00161
25	53.50	53.76	2.095	2.085	0.0000805	0.00001502	0.0553	0.02369	0.00143
26	55.26	55.51	2.183	2.229	0.0000777	0.00001534	0.0545	0.02462	0.00126
27	56.97	57.21	2.288	2.401	0.0000749	0.00001569	0.0538	0.02565	0.00110
28	58.63	58.86	2.414	2.609	0.0000721	0.00001607	0.0532	0.02679	0.00094
29	60.24	60.46	2.569	2.868	0.0000693	0.00001649	0.0526	0.02806	0.00080
30	61.81	62.01	2.765	3.197	0.0000665	0.00001695	0.0520	0.02951	0.00067
32	64.82	64.99	3.381	4.233	0.0000609	0.00001809	0.0512	0.03317	0.00043
34	67.67	67.81	4.771	6.536	0.0000547	0.00001968	0.0513	0.03873	0.00023
37.29	72.05	72.05	∞	∞	----	----	∞	∞	0.00000

الجدول 28: الخواص الفيزيائية للفرين R410A على خطي التكاثف

والغليان حسب الضغط

p [bar]	t_{Bubble} [°C]	t_{Dew} [°C]	c'_p [kJ/kgK]	c''_p [kJ/kgK]	μ' [Pa s]	μ'' [Pa s]	λ' [W/mK]	λ'' [W/mK]	σ [N/m]
0.1	-88.23	-88.14	1.344	0.668	0.0006699	0.00000829	0.1773	0.00744	0.02472
0.2	-78.79	-78.70	1.345	0.696	0.0005529	0.00000871	0.1708	0.00779	0.02291
0.4	-68.12	-68.04	1.351	0.734	0.0004548	0.00000917	0.1633	0.00821	0.02090
0.6	-61.22	-61.14	1.358	0.762	0.0004046	0.00000947	0.1583	0.00850	0.01962
0.8	-55.98	-55.90	1.364	0.785	0.0003718	0.00000970	0.1546	0.00873	0.01866
1	-51.70	-51.62	1.369	0.805	0.0003478	0.00000988	0.1515	0.00893	0.01788
1.0132	-51.44	-51.36	1.370	0.807	0.0003464	0.00000990	0.1513	0.00894	0.01784
1.2	-48.06	-47.98	1.375	0.823	0.0003290	0.00001004	0.1489	0.00911	0.01723
1.4	-44.87	-44.79	1.380	0.839	0.0003138	0.00001018	0.1466	0.00926	0.01665
1.6	-42.02	-41.94	1.385	0.854	0.0003009	0.00001030	0.1446	0.00940	0.01615
1.8	-39.44	-39.36	1.390	0.868	0.0002899	0.00001041	0.1428	0.00953	0.01569
2	-37.07	-36.99	1.395	0.881	0.0002803	0.00001051	0.1411	0.00966	0.01527
2.2	-34.89	-34.80	1.399	0.893	0.0002718	0.00001061	0.1395	0.00977	0.01489
2.4	-32.85	-32.76	1.404	0.904	0.0002642	0.00001070	0.1381	0.00988	0.01454
2.6	-30.94	-30.85	1.408	0.916	0.0002572	0.00001078	0.1367	0.00998	0.01421
2.8	-29.14	-29.05	1.413	0.926	0.0002510	0.00001086	0.1355	0.01008	0.01390
3	-27.44	-27.35	1.417	0.936	0.0002452	0.00001093	0.1343	0.01018	0.01360
3.2	-25.82	-25.73	1.421	0.946	0.0002398	0.00001100	0.1331	0.01027	0.01333
3.4	-24.28	-24.19	1.426	0.956	0.0002349	0.00001107	0.1321	0.01036	0.01306
3.6	-22.81	-22.72	1.430	0.965	0.0002303	0.00001113	0.1310	0.01046	0.01281
3.8	-21.40	-21.31	1.434	0.975	0.0002260	0.00001119	0.1301	0.01055	0.01257
4	-20.04	-19.95	1.438	0.983	0.0002219	0.00001125	0.1291	0.01064	0.01235
4.2	-18.74	-18.65	1.443	0.992	0.0002181	0.00001131	0.1282	0.01073	0.01213
4.4	-17.48	-17.39	1.447	1.001	0.0002145	0.00001136	0.1273	0.01082	0.01192
4.6	-16.27	-16.18	1.451	1.009	0.0002111	0.00001142	0.1265	0.01091	0.01171
4.8	-15.10	-15.00	1.455	1.017	0.0002078	0.00001147	0.1257	0.01099	0.01152
5	-13.96	-13.86	1.459	1.025	0.0002047	0.00001152	0.1249	0.01108	0.01133
5.5	-11.26	-11.16	1.469	1.045	0.0001976	0.00001164	0.1231	0.01128	0.01089
6	-8.74	-8.64	1.479	1.064	0.0001912	0.00001175	0.1214	0.01148	0.01047
6.5	-6.38	-6.28	1.489	1.083	0.0001853	0.00001186	0.1197	0.01168	0.01009
7	-4.15	-4.05	1.499	1.101	0.0001800	0.00001196	0.1182	0.01188	0.00973
7.5	-2.04	-1.93	1.509	1.119	0.0001751	0.00001206	0.1168	0.01207	0.00939
8	-0.03	0.08	1.519	1.136	0.0001706	0.00001215	0.1155	0.01226	0.00907
8.5	1.89	1.99	1.529	1.154	0.0001664	0.00001224	0.1142	0.01245	0.00877
9	3.72	3.83	1.540	1.171	0.0001624	0.00001233	0.1130	0.01264	0.00848
9.5	5.48	5.58	1.550	1.188	0.0001587	0.00001241	0.1118	0.01282	0.00821
10	7.17	7.27	1.560	1.205	0.0001553	0.00001249	0.1107	0.01301	0.00795
11	10.36	10.47	1.581	1.239	0.0001488	0.00001265	0.1086	0.01339	0.00746

12	13.34	13.46	1.603	1.274	0.0001431	0.00001281	0.1067	0.01379	0.00701
13	16.15	16.26	1.624	1.31	0.0001378	0.00001295	0.1048	0.01419	0.00659
14	18.79	18.91	1.647	1.347	0.0001330	0.00001312	0.1031	0.01460	0.00620
15	21.30	21.41	1.670	1.385	0.0001285	0.00001323	0.1015	0.01503	0.00583
16	23.68	23.80	1.694	1.424	0.0001243	0.00001338	0.1000	0.01546	0.00549
17	25.96	26.07	1.719	1.465	0.0001204	0.00001352	0.0985	0.01591	0.00516
18	28.13	28.25	1.745	1.509	0.0001168	0.00001366	0.0972	0.01638	0.00486
19	30.22	30.34	1.772	1.555	0.0001133	0.00001381	0.0958	0.01686	0.00457
20	32.22	32.34	1.800	1.603	0.0001101	0.00001395	0.0946	0.01736	0.00429
21	34.16	34.28	1.830	1.655	0.0001070	0.00001410	0.0933	0.01788	0.00403
22	36.02	36.14	1.861	1.709	0.0001040	0.00001425	0.0922	0.01842	0.00378
23	37.82	37.94	1.894	1.768	0.0001012	0.00001440	0.0911	0.01899	0.00354
24	39.56	39.68	1.929	1.831	0.0000985	0.00001455	0.0900	0.01958	0.00331
25	41.25	41.37	1.967	1.898	0.0000959	0.00001471	0.0889	0.02021	0.00310
26	42.89	43.00	2.008	1.971	0.0000934	0.00001487	0.0879	0.02087	0.00289
27	44.48	44.59	2.052	2.050	0.0000910	0.00001503	0.0869	0.02156	0.00269
28	46.02	46.14	2.100	2.136	0.0000886	0.00001521	0.0860	0.02229	0.00250
29	47.53	47.64	2.153	2.230	0.0000863	0.00001538	0.0850	0.02307	0.00231
30	48.99	49.10	2.211	2.333	0.0000841	0.00001557	0.0841	0.02389	0.00214
32	51.81	51.91	2.348	2.575	0.0000799	0.00001596	0.0824	0.02570	0.00181
34	54.49	54.59	2.522	2.879	0.0000757	0.00001639	0.0808	0.02777	0.00150
36	57.05	57.15	2.752	3.276	0.0000717	0.00001687	0.0793	0.03017	0.00122
38	59.50	59.59	3.070	3.815	0.0000677	0.00001743	0.0779	0.03302	0.00097
40	61.85	61.93	3.541	4.596	0.0000637	0.00001808	0.0767	0.03648	0.00074
42	64.10	64.17	4.306	5.826	0.0000594	0.00001887	0.0758	0.04086	0.00053
49.03	71.36	71.36	∞	∞	----	----	∞	∞	0.00000

الجدول 29: الخواص الفيزيائية للأمونيا R717 على خطي التكاثف والغليان

حسب درجة الحرارة

t [°C]	p [bar]	c'_p [kJ/kgK]	c''_p [kJ/kgK]	μ' [Pa s]	μ'' [Pa s]	λ' [W/mK]	λ'' [W/mK]	σ [N/m]
-77.65	0.0609	4.202	2.063	0.0005596	0.00000684	0.8190	0.01964	0.06226
-70.00	0.1094	4.245	2.086	0.0004750	0.00000703	0.7921	0.01973	0.05910
-60.00	0.2189	4.303	2.125	0.0003913	0.00000730	0.7570	0.01993	0.05505
-50.00	0.4084	4.360	2.178	0.0003289	0.00000757	0.7223	0.02024	0.05111
-40.00	0.7169	4.414	2.244	0.0002812	0.00000786	0.6881	0.02064	0.04726
-38.00	0.7971	4.424	2.259	0.0002731	0.00000792	0.6814	0.02073	0.04651
-36.00	0.8845	4.434	2.275	0.0002653	0.00000798	0.6746	0.02083	0.04575
-34.00	0.9795	4.444	2.291	0.0002579	0.00000803	0.6679	0.02093	0.04500
-33.33	1.0133	4.448	2.297	0.0002555	0.00000805	0.6657	0.02097	0.04475
-32.00	1.0826	4.455	2.308	0.0002508	0.00000809	0.6613	0.02104	0.04426
-30.00	1.1943	4.465	2.326	0.0002441	0.00000815	0.6546	0.02115	0.04352
-28.00	1.3151	4.474	2.344	0.0002376	0.00000821	0.6480	0.02126	0.04278
-26.00	1.4457	4.484	2.363	0.0002314	0.00000827	0.6415	0.02138	0.04205
-24.00	1.5864	4.494	2.383	0.0002255	0.00000833	0.6349	0.02151	0.04132
-22.00	1.7379	4.504	2.403	0.0002198	0.00000839	0.6284	0.02163	0.04060
-20.00	1.9008	4.514	2.425	0.0002144	0.00000845	0.6220	0.02177	0.03988
-18.00	2.0756	4.524	2.446	0.0002092	0.00000851	0.6155	0.02190	0.03916
-16.00	2.263	4.534	2.469	0.0002042	0.00000857	0.6091	0.02205	0.03845
-14.00	2.4637	4.543	2.493	0.0001993	0.00000863	0.6028	0.02219	0.03774
-12.00	2.6782	4.553	2.517	0.0001947	0.00000869	0.5964	0.02235	0.03704
-10.00	2.9071	4.564	2.542	0.0001902	0.00000875	0.5901	0.02250	0.03634
-8.00	3.1513	4.574	2.568	0.0001859	0.00000881	0.5839	0.02267	0.03565
-6.00	3.4114	4.584	2.594	0.0001817	0.00000887	0.5777	0.02283	0.03496
-4.00	3.688	4.595	2.622	0.0001777	0.00000893	0.5715	0.02300	0.03427
-2.00	3.9819	4.606	2.651	0.0001738	0.00000899	0.5653	0.02318	0.03359
0.00	4.2938	4.617	2.680	0.0001701	0.00000906	0.5592	0.02337	0.03291
2.00	4.6246	4.628	2.710	0.0001665	0.00000912	0.5531	0.02355	0.03224
4.00	4.9748	4.639	2.742	0.0001629	0.00000918	0.5471	0.02375	0.03157
6.00	5.3453	4.651	2.774	0.0001595	0.00000924	0.5411	0.02395	0.03091
8.00	5.737	4.663	2.807	0.0001562	0.00000930	0.5351	0.02415	0.03024
10.00	6.1505	4.676	2.841	0.0001530	0.00000936	0.5291	0.02437	0.02959
12.00	6.5866	4.689	2.877	0.0001499	0.00000943	0.5232	0.02458	0.02894
14.00	7.0463	4.702	2.913	0.0001469	0.00000949	0.5173	0.02481	0.02829
16.00	7.5303	4.716	2.951	0.0001440	0.00000955	0.5115	0.02504	0.02765
18.00	8.0395	4.730	2.990	0.0001411	0.00000961	0.5056	0.02527	0.02701
20.00	8.5748	4.745	3.030	0.0001383	0.00000968	0.4999	0.02552	0.02638
22.00	9.1369	4.760	3.071	0.0001356	0.00000974	0.4941	0.02577	0.02575
24.00	9.7268	4.776	3.113	0.0001330	0.00000980	0.4884	0.02603	0.02512

26.00	10.345	4.793	3.158	0.0001304	0.00000987	0.4827	0.02629	0.02450
28.00	10.993	4.810	3.203	0.0001279	0.00000993	0.4770	0.02657	0.02389
30.00	11.672	4.828	3.250	0.0001255	0.00001000	0.4714	0.02685	0.02328
32.00	12.382	4.847	3.299	0.0001231	0.00001006	0.4657	0.02714	0.02267
34.00	13.124	4.867	3.349	0.0001207	0.00001013	0.4601	0.02743	0.02207
36.00	13.900	4.888	3.401	0.0001184	0.00001019	0.4546	0.02774	0.02147
38.00	14.709	4.909	3.455	0.0001162	0.00001026	0.4491	0.02805	0.02088
40.00	15.554	4.932	3.510	0.0001140	0.00001033	0.4435	0.02838	0.02029
42.00	16.435	4.956	3.568	0.0001119	0.00001039	0.4380	0.02871	0.01971
44.00	17.353	4.981	3.628	0.0001098	0.00001046	0.4326	0.02906	0.01913
46.00	18.310	5.007	3.691	0.0001078	0.00001053	0.4271	0.02941	0.01856
48.00	19.305	5.034	3.756	0.0001058	0.00001060	0.4217	0.02978	0.01799
50.00	20.340	5.064	3.823	0.0001038	0.00001067	0.4163	0.03016	0.01743
55.00	23.111	5.143	4.005	0.0000990	0.00001086	0.4029	0.03116	0.01604
60.00	26.156	5.235	4.208	0.0000945	0.00001105	0.3896	0.03226	0.01469
65.00	29.491	5.341	4.438	0.0000901	0.00001125	0.3764	0.03347	0.01337
70.00	33.135	5.465	4.699	0.0000859	0.00001147	0.3632	0.03480	0.01208
75.00	37.105	5.610	5.001	0.0000819	0.00001170	0.3502	0.03630	0.01083
80.00	41.420	5.784	5.355	0.0000780	0.00001195	0.3371	0.03800	0.00961
85.00	46.100	5.993	5.777	0.0000742	0.00001223	0.3241	0.03995	0.00844
90.00	51.167	6.250	6.291	0.0000705	0.00001255	0.3110	0.04224	0.00730
95.00	56.643	6.573	6.933	0.0000668	0.00001291	0.2979	0.04499	0.00620
100.00	62.553	6.991	7.762	0.0000632	0.00001332	0.2848	0.04836	0.00515
105.00	68.923	7.555	8.877	0.0000596	0.00001382	0.2715	0.05265	0.00415
110.00	75.783	8.360	10.46	0.0000560	0.00001442	0.2581	0.05833	0.00320
115.00	83.170	9.630	12.91	0.0000523	0.00001519	0.2446	0.06628	0.00231
120.00	91.125	11.940	17.21	0.0000483	0.00001621	0.2312	0.07840	0.00150
125.00	99.700	17.660	27.00	0.0000438	0.00001773	0.2191	0.10001	0.00077
130.00	108.977	54.210	76.49	0.0000373	0.00002063	0.2219	0.16039	0.00018
132.25	113.33	∞	∞	----	----	∞	∞	0.00000

الجدول 30: الخواص الفيزيولوجية لثاني أكسيد الكربون R744 على خطي

التكاثف والغليان حسب درجة الحرارة

t [°C]	p [bar]	c'_p [kJ/kgK]	c''_p [kJ/kgK]	μ' [Pa s]	μ'' [Pa s]	λ' [W/mK]	λ'' [W/mK]	σ [N/m]
-56.56	5.1796	1.953	0.909	0.0002567	0.00001095	0.1806	0.01101	0.01716
-50.00	6.8234	1.971	0.952	0.0002293	0.00001131	0.1721	0.01158	0.01553
-48.00	7.3949	1.978	0.967	0.0002216	0.00001142	0.1695	0.01176	0.01504
-46.00	8.0015	1.985	0.982	0.0002143	0.00001153	0.1669	0.01195	0.01456
-44.00	8.6445	1.993	0.998	0.0002072	0.00001164	0.1644	0.01214	0.01407
-42.00	9.3252	2.002	1.015	0.0002003	0.00001175	0.1618	0.01234	0.01360
-40.00	10.0450	2.012	1.033	0.0001938	0.00001187	0.1593	0.01254	0.01312
-38.00	10.8050	2.022	1.052	0.0001874	0.00001198	0.1568	0.01275	0.01265
-36.00	11.6070	2.033	1.072	0.0001813	0.00001210	0.1543	0.01297	0.01218
-34.00	12.4520	2.045	1.094	0.0001754	0.00001222	0.1518	0.01320	0.01172
-32.00	13.3420	2.059	1.116	0.0001697	0.00001234	0.1493	0.01343	0.01126
-30.00	14.2780	2.073	1.141	0.0001642	0.00001246	0.1469	0.01368	0.01080
-28.00	15.2610	2.089	1.166	0.0001589	0.00001259	0.1444	0.01394	0.01035
-26.00	16.2930	2.105	1.194	0.0001538	0.00001272	0.1419	0.01420	0.00990
-24.00	17.3750	2.124	1.223	0.0001488	0.00001285	0.1395	0.01449	0.00946
-22.00	18.5090	2.144	1.255	0.0001440	0.00001298	0.1371	0.01478	0.00902
-20.00	19.6960	2.165	1.289	0.0001393	0.00001312	0.1346	0.01509	0.00859
-19.00	20.3100	2.177	1.307	0.0001371	0.00001318	0.1334	0.01525	0.00837
-18.00	20.9380	2.189	1.326	0.0001348	0.00001326	0.1322	0.01542	0.00816
-17.00	21.5810	2.201	1.346	0.0001326	0.00001333	0.1310	0.01559	0.00795
-16.00	22.2370	2.215	1.366	0.0001304	0.00001340	0.1298	0.01577	0.00774
-15.00	22.9080	2.228	1.388	0.0001283	0.00001347	0.1286	0.01595	0.00753
-14.00	23.5930	2.243	1.410	0.0001262	0.00001355	0.1274	0.01614	0.00732
-13.00	24.2940	2.258	1.433	0.0001241	0.00001363	0.1262	0.01634	0.00711
-12.00	25.0100	2.273	1.457	0.0001220	0.00001370	0.1250	0.01654	0.00690
-11.00	25.7400	2.290	1.483	0.0001200	0.00001378	0.1238	0.01674	0.00670
-10.00	26.4870	2.307	1.509	0.0001180	0.00001386	0.1225	0.01696	0.00650
-9.00	27.2490	2.325	1.537	0.0001161	0.00001395	0.1213	0.01718	0.00629
-8.00	28.0270	2.345	1.566	0.0001141	0.00001403	0.1201	0.01742	0.00609
-7.00	28.8210	2.365	1.597	0.0001122	0.00001412	0.1189	0.01766	0.00589
-6.00	29.6320	2.386	1.629	0.0001103	0.00001420	0.1177	0.01791	0.00570
-5.00	30.4590	2.408	1.663	0.0001084	0.00001430	0.1165	0.01817	0.00550
-4.00	31.3030	2.432	1.699	0.0001066	0.00001439	0.1153	0.01844	0.00530
-3.00	32.1640	2.457	1.737	0.0001048	0.00001448	0.1141	0.01873	0.00511
-2.00	33.0420	2.484	1.777	0.0001029	0.00001458	0.1129	0.01903	0.00492
-1.00	33.9380	2.512	1.819	0.0001012	0.00001468	0.1116	0.01934	0.00473
0.00	34.8510	2.542	1.865	0.0000994	0.00001479	0.1104	0.01967	0.00454
1.00	35.7830	2.574	1.913	0.0000976	0.00001489	0.1092	0.02002	0.00435

2.00	36.7330	2.609	1.965	0.0000959	0.00001500	0.1080	0.02038	0.00417
3.00	37.7010	2.645	2.020	0.0000942	0.00001512	0.1068	0.02076	0.00399
4.00	38.6880	2.685	2.080	0.0000925	0.00001524	0.1055	0.02117	0.00380
5.00	39.6950	2.727	2.144	0.0000908	0.00001536	0.1043	0.02160	0.00362
6.00	40.7200	2.772	2.213	0.0000891	0.00001549	0.1031	0.02206	0.00345
7.00	41.7650	2.822	2.289	0.0000875	0.00001562	0.1018	0.02254	0.00327
8.00	42.8310	2.875	2.370	0.0000858	0.00001576	0.1006	0.02306	0.00310
9.00	43.9160	2.934	2.460	0.0000842	0.00001591	0.0994	0.02361	0.00293
10.00	45.0220	2.998	2.558	0.0000826	0.00001606	0.0981	0.02421	0.00276
11.00	46.1490	3.068	2.666	0.0000809	0.00001622	0.0969	0.02484	0.00259
12.00	47.2970	3.145	2.786	0.0000793	0.00001639	0.0956	0.02553	0.00242
13.00	48.4660	3.232	2.919	0.0000777	0.00001656	0.0944	0.02627	0.00226
14.00	49.6580	3.328	3.068	0.0000761	0.00001675	0.0931	0.02708	0.00210
15.00	50.8701	3.436	3.237	0.0000744	0.00001695	0.0919	0.02796	0.00195
16.00	52.1080	3.558	3.429	0.0000728	0.00001716	0.0906	0.02893	0.00179
17.00	53.3680	3.698	3.649	0.0000712	0.00001739	0.0894	0.02999	0.00164
18.00	54.6510	3.858	3.905	0.0000695	0.00001764	0.0881	0.03116	0.00149
19.00	55.9580	4.044	4.204	0.0000678	0.00001790	0.0869	0.03247	0.00135
20.00	57.2910	4.264	4.560	0.0000661	0.00001819	0.0857	0.03394	0.00120
21.00	58.6480	4.526	4.990	0.0000644	0.00001850	0.0845	0.03561	0.00106
22.00	60.0310	4.846	5.519	0.0000627	0.00001885	0.0834	0.03752	0.00093
23.00	61.4400	5.248	6.185	0.0000609	0.00001923	0.0824	0.03974	0.00080
24.00	62.8770	5.767	7.049	0.0000590	0.00001966	0.0815	0.04235	0.00067
25.00	64.3420	6.467	8.212	0.0000570	0.00002016	0.0808	0.04551	0.00055
26.00	65.8370	7.460	9.862	0.0000550	0.00002073	0.0805	0.04944	0.00044
27.00	67.3610	8.970	12.38	0.0000528	0.00002142	0.0807	0.05456	0.00033
28.00	68.9180	11.550	16.69	0.0000503	0.00002227	0.0819	0.06173	0.00023
29.00	70.5090	16.950	25.74	0.0000475	0.00002341	0.0852	0.07319	0.00013
30.00	72.1370	35.340	55.82	0.0000438	0.00002517	0.0954	0.09802	0.00005
30.98	73.7730	∞	∞	----	----	∞	∞	0.00000

الجدول 31: الخواص الفيزيائية للبريون R502 على خطي التكاثف والغليان
حسب درجة الحرارة

t [°C]	p [bar]	c'_p [kJ/kgK]	c''_p [kJ/kgK]	μ' [Pa s]	μ'' [Pa s]	λ' [W/mK]	λ'' [W/mK]	σ [N/m]
-70.00	0.2757	1.024	=	0.0005436	=	=	=	=
-68.00	0.3104	1.027	=	0.0005273	=	=	=	=
-66.00	0.3487	1.031	=	0.0005117	=	=	=	=
-64.00	0.3907	1.034	=	0.0004967	=	=	=	=
-62.00	0.4368	1.038	=	0.0004824	=	=	=	=
-60.00	0.4872	1.042	0.574	0.0004687	=	0.0979	=	0.01741
-58.00	0.5422	1.046	0.578	0.0004555	=	0.0971	=	0.01710
-56.00	0.6021	1.050	0.582	0.0004429	=	0.0963	=	0.01679
-54.00	0.6671	1.053	0.585	0.0004307	=	0.0955	=	0.01648
-52.00	0.7377	1.057	0.589	0.0004191	=	0.0947	=	0.01617
-50.00	0.8142	1.061	0.592	0.0004079	=	0.0939	=	0.01586
-48.00	0.8969	1.066	0.595	0.0003972	=	0.0931	=	0.01556
-46.00	0.9861	1.070	0.599	0.0003868	=	0.0923	=	0.01525
-45.42	1.0132	1.071	0.600	0.0003839	=	0.0921	=	0.01516
-44.00	1.0821	1.074	0.602	0.0003769	=	0.0916	=	0.01495
-42.00	1.1854	1.078	0.606	0.0003673	=	0.0908	=	0.01465
-40.00	1.2964	1.082	0.609	0.0003581	=	0.0900	0.00711	0.01435
-38.00	1.4153	1.087	0.612	0.0003493	=	0.0893	0.00725	0.01405
-36.00	1.5426	1.091	0.616	0.0003408	=	0.0885	0.00739	0.01375
-34.00	1.6786	1.095	0.620	0.0003325	=	0.0877	0.00752	0.01345
-32.00	1.8239	1.100	0.623	0.0003246	=	0.0870	0.00766	0.01316
-30.00	1.9786	1.104	0.627	0.0003170	=	0.0862	0.00780	0.01286
-28.00	2.1433	1.109	0.631	0.0003096	=	0.0854	0.00793	0.01257
-26.00	2.3184	1.114	0.635	0.0003025	=	0.0847	0.00807	0.01228
-24.00	2.5043	1.118	0.640	0.0002956	=	0.0839	0.00820	0.01199
-22.00	2.7014	1.123	0.644	0.0002890	=	0.0832	0.00834	0.01170
-20.00	2.9101	1.128	0.649	0.0002826	=	0.0824	0.00847	0.01142
-18.00	3.1308	1.133	0.653	0.0002764	=	0.0817	0.00860	0.01113
-16.00	3.3641	1.137	0.659	0.0002705	=	0.0809	0.00873	0.01085
-14.00	3.6102	1.142	0.664	0.0002647	=	0.0801	0.00887	0.01057
-12.00	3.8697	1.147	0.669	0.0002591	=	0.0794	0.00900	0.01029
-10.00	4.143	1.152	0.675	0.0002537	=	0.0786	0.00913	0.01001
-8.00	4.4304	1.158	0.681	0.0002485	=	0.0779	0.00927	0.00973
-6.00	4.7326	1.163	0.688	0.0002434	=	0.0771	0.00940	0.00946
-4.00	5.0498	1.168	0.694	0.0002385	=	0.0764	0.00953	0.00918
-2.00	5.3826	1.173	0.701	0.0002338	=	0.0756	0.00967	0.00891
0.00	5.7313	1.178	0.709	0.0002292	0.00001169	0.0748	0.00980	0.00864
2.00	6.0965	1.184	0.716	0.0002247	0.00001179	0.0741	0.00994	0.00837

4.00	6.4786	1.189	0.724	0.0002204	0.00001190	0.0733	0.01007	0.00811
6.00	6.8779	1.195	0.733	0.0002162	0.00001201	0.0725	0.01021	0.00784
8.00	7.2951	1.200	0.741	0.0002122	0.00001212	0.0718	0.01035	0.00758
10.00	7.7305	1.206	0.751	=	0.00001224	0.0710	0.01049	=
12.00	8.1845	1.211	0.760	=	0.00001236	0.0702	0.01063	=
14.00	8.6577	1.217	0.770	=	0.00001248	0.0694	0.01077	=
16.00	9.1505	1.223	0.781	=	0.00001260	0.0687	0.01092	=
18.00	9.6634	1.228	0.792	=	0.00001272	0.0679	0.01106	=
20.00	10.197	1.234	0.804	=	0.00001284	0.0671	0.01121	=
22.00	10.751	1.240	0.816	=	0.00001296	=	0.01136	=
24.00	11.327	1.246	0.828	=	0.00001308	=	0.01151	=
26.00	11.925	1.252	0.841	=	0.00001320	=	0.01167	=
28.00	12.545	1.258	0.855	=	0.00001332	=	0.01182	=
30.00	13.189	1.264	0.869	=	0.00001344	=	0.01198	=
32.00	13.856	1.270	0.884	=	0.00001356	=	0.01214	=
34.00	14.547	1.276	0.899	=	0.00001367	=	0.01230	=
36.00	15.262	1.283	0.915	=	0.00001378	=	0.01247	=
38.00	16.003	1.289	0.932	=	0.00001389	=	0.01264	=
40.00	16.77	1.295	0.949	=	0.00001399	=	0.01281	=
82.20	40.75	∞	∞	----	----	∞	∞	0.00000

لمحة موجزة عن النواقل التبريدية (وسائط التبريد المساعدة) مع جداول بالخواص الفيزيولوجية لبعض النواقل التبريدية

لمحة موجزة عن النواقل التبريدية (وسائط التبريد المساعدة)

الجدول 32: درجة حرارة تجمد محلول NaCl و CaCl_2

الجدول 33: كثافة محلول NaCl بدلالة درجة الحرارة

الجدول 34: معامل التوصيل الحراري لمحلول NaCl بحسب درجة الحرارة

الجدول 35: السعة الحرارية لمحلول NaCl عند 0°C

الجدول 36: الخواص الفيزيولوجية لمحلول NaCl بحسب درجة حرارة وتركيز الملح

الجدول 37: كثافة محلول CaCl_2 بدلالة درجة الحرارة

الجدول 38: معامل التوصيل الحراري لمحلول CaCl_2 بحسب درجة الحرارة

الجدول 39: السعة الحرارية لمحلول CaCl_2 عند 0°C

الجدول 40: الخواص الفيزيولوجية لمحلول CaCl_2 بحسب درجة حرارة وتركيز الملح

الجدول 41: بارامترات الهواء الرطب عند 750 mmHg

الجدول 42: الخواص الفيزيولوجية للهواء الجاف عند 760 mmHg

الجدول 43: الخواص الفيزيولوجية للحليب



لمحة موجزة عن النواقل التبريدية (وسائط التبريد المساعدة)

النواقل التبريدية : سوائل خاصة، تستخدم من أجل نقل البرودة من مكان الحصول عليها (في المبخرات) حتى المكان المبرد: غرف، مستودعات، أجهزة،

إن استهلاك الطاقة في النظام بوجود ناقل برودة سوف يكون أعلى مما هو عليه في نظام التبريد المباشر، الذي يغلي وسيط التبريد في الجهاز (المبخر)، الموجود داخل المكان المراد تبريده، وذلك عند الشروط الخارجية نفسها (درجة حرارة الهواء في الحجم المبرد واحدة وعند نفس الحمل التبريدي). يمكن تفسير ذلك، أنه في النظام بوجود ناقل برودة فمن أجل تبريد الناقل فإن درجة حرارة وسيط التبريد يجب أن تكون أقل بـ $5-8^{\circ}\text{C}$ مقارنة مع نظام التبريد المباشر، أضف إلى ذلك حتمية ضياع طاقة من أجل عمل المضخات العاملة لتدوير ناقل البرودة.

على الرغم من ضياع الطاقة عند استخدام نواقل البرودة، إلا أن استعمالها يتم في الحالات التالية:

- عندما يكون استعمال أنظمة التبريد المباشر محرم إطلاقاً بسبب سمية وسيط التبريد (الأمونيا).
- عند وجود مستثمرين كثر للتبريد ودرجات حرارة مختلفة، وعلى مسافات متباعدة.

إذا لم تكن هناك حاجة إلى درجات حرارة سالبة، فإن الماء يعد من أفضل نواقل البرودة فهو الأرخص ويمتلك حرارة نوعية مرتفعة ولزوجته منخفضة ويعد غير سام وفعالية منخفضة للأكسدة، غير قابل للاحتراق. ينتشر استخدام الماء كناقل برودة في أنظمة تكييف الهواء المركزية، وكذلك من أجل تبريد الحليب وأنواع العصائر المختلفة وغيرها من العمليات التكنولوجية.

من الواضح، أنه من غير الممكن استعمال الماء إذا رغبتنا في أن تكون درجة حرارة ناقل البرودة أخفض من الصفر المئوي ($t < 0^{\circ}\text{C}$). لمثل هذه الحالات نستعمل المحاليل الملحية، كنواقل حرارية تبريدية، (وبمعنى آخر محاليل الأملاح المختلفة في الماء). يعتبر محلول كلور الصوديوم NaCl ومحلول كلور الكالسيوم CaCl_2 من أكثر المحاليل الملحية المائية انتشاراً في تقنيات التبريد وكذلك محاليل الغليكول (إيثيلين غليغول، بروبيلين غليغول).

تحدد خواص المحلول الملحي بتركيز الملح فيه، أي نسبة الملح المذاب كنسبة مئوية من واحدة كتل المحلول. أحياناً يقاس التركيز بالكثافة $[g/cm^3]$. ندعو المحلول الملحي بتركيز حرج للملح بـ "المحلول التصلبي". عند رفع أو تخفيض تركيز الملح ضمن المحلول فإن درجة حرارة تجمده تتغير.

من أجل تخفيض تأثير الأملاح على الأجزاء المعدنية للتجهيزات المارة فيها يضيفون إليها سيليكات

الصوديوم، ملح الكروم، حموض فوسفورية.

يجب على نواقل التبريد المساعدة:

- ١- امتلاك درجة حرارة تجمد منخفضة.
- ٢- أن تملك قيمة عالية للسعة الحرارية ومعامل التوصيل الحراري.
- ٣- أن تكون لها قيم عالية للزوجية والكثافة.

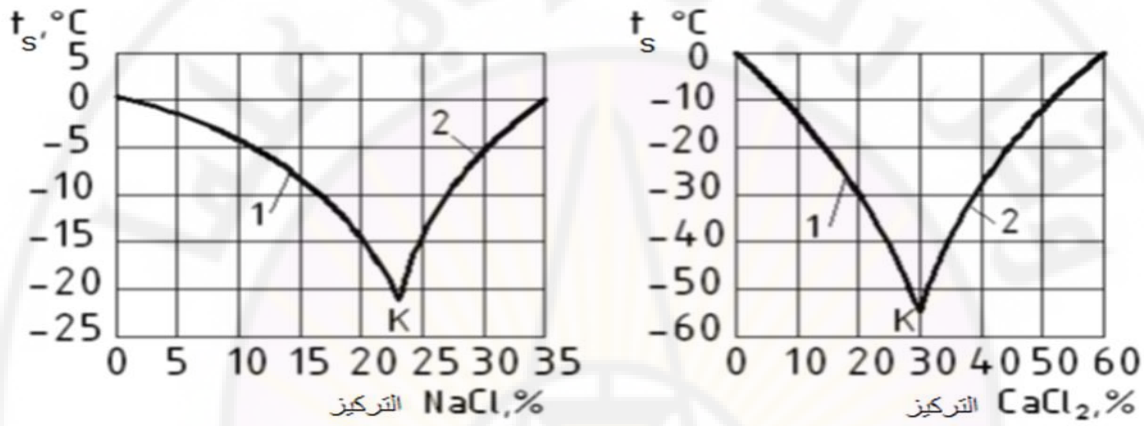
٤- أن تكون خاملة كيميائياً تجاه المعادن.

٥- أن تكون غير خطيرة وغير ضارة.

٦- ألا تكون غالية الثمن.

تتعلق الخواص الفيزيولوجية للمحاليل الملحية الآتية الذكر بتركيز الملح في المحلول .

يظهر على الشكل (١) علاقة درجة حرارة تجمد المحلول الملحي بتركيز الملح وذلك لكل من محلول NaCl و $CaCl_2$.



الشكل ٣

الخواص الفيزيولوجية لنواقل التبريد

هي السعة الحرارية C ، معامل التوصيل الحراري λ ، اللزوجة التحريكية μ ، الكثافة ρ ، معامل الانتشار الحراري a وغيرها. تؤثر هذه الخواص بصورة رئيسية في فعالية التبادل الحراري في أجهزة التبادل الحراري (المكثفات والمبخرات والمبادلات الحرارية الاسترجاعية و...)، وكذلك في ضياع الضغط في الدارة وفي أبعاد وكتلة الضاغط.

يؤدي زيادة كل من السعة الحرارية، ومعامل التوصيل الحراري، والانتشار الحراري، وكثافة كل من السائل والبخار إلى زيادة معامل انتقال الحرارة في المبادلات الحرارية وعلى العكس فإنه بزيادة كل من اللزوجة والإجهاد السطحي والحجم النوعي لوسيط التبريد سوف يؤدي إلى زيادة الضياعات الهيدروليكية في كل من أجهزة التبادل الحراري وفي شبكة أنابيب التوصيل بين الأجهزة.

تؤثر كثافة والحجم النوعي للبخار المسحوب بواسطة الضاغط في أبعاد الأخير. فمع ازدياد الحجم النوعي للبخار عند السحب تنخفض أبعاد الضاغط وذلك عند التدفق الكتلي نفسه لوسيط التبريد.

الجدول 32: درجة حرارة تجمد محلول NaCl وCaCl₂

يُدرج في الجدول التالي درجة حرارة تجمد محاليل كلور الصوديوم NaCl وكلور الكالسيوم CaCl₂ وذلك بحسب التركيز. يتغير تركيز الملح في المحلول من 0.1% وحتى 37.5%.

كما هو ملاحظ من الجدول أن محلول كلور الصوديوم يمكن ألا يتجمد حتى درجة الحرارة -21.2°C ، أما محلول كلور الكالسيوم لا يتجمد حتى درجة حرارة -55°C .

محتوى الملح %	$t_s [^{\circ}\text{C}]$	محتوى الملح %	$t_s [^{\circ}\text{C}]$	محتوى الملح %	$t_s [^{\circ}\text{C}]$
كلور الصوديوم					
0.1	0	11.0	-7.5	21.2	-18.2
1.5	-0.9	12.3	-8.6	22.4	-20.0
2.9	-1.8	13.6	-9.8	23.1*	-21.2
4.3	-2.6	14.9	-11.0	23.7	-17.2
5.6	-3.5	16.2	-12.2	24.9	-9.5
7.0	-4.4	17.5	-13.6	26.1	-1.7
8.3	-5.4	18.8	-15.1	26.3	0
9.6	-6.4	20.0	-16.6		
كلور الكالسيوم					
0.1	0	15.8	-11.4	29.4	-50.1
2.5	-1.2	17.8	-14.2	29.9*	-55.0
4.8	-2.4	19.9	-17.4	31.2	-41.6
7.1	-3.7	21.9	-21.2	33.0	-27.1
9.4	-5.2	23.8	-25.7	34.7	-15.6
11.5	-7.1	25.7	-31.2	36.4	-5.1
13.7	-9.1	27.5	-38.6	37.3	0

الجدول 33: كثافة محلول NaCl بدلالة درجة الحرارة

يُدرج في الجدول التالي قيم كثافة محاليل كلور الصوديوم NaCl ذي التراكيز المختلفة بدلالة درجة الحرارة. يتراوح تركيز ملح NaCl في المحلول من 10% وحتى 25% بينما تتغير درجة حرارته من -15°C حتى 15°C .

الكثافة $[kg/m^3]$					محتوى الملح %
-15°C	-10°C	-5°C	0°C	15°C	
-	-	1079	1078	1075	10
-	-	1087	1086	1082	11
-	-	1095	1093	1089	12
-	-	1102	1101	1098	13
-	-	1110	1108	1103	14
-	1119	1117	1116	1111	15
-	1125	1125	1124	1119	16
-	1135	1134	1133	1127	17
-	1144	1142	1141	1134	18
1151	1149	1148	1147	1141	19
1163	1162	1160	1158	1151	20
1171	1169	1168	1165	1160	21
1180	1178	1176	1174	1168	22
1187	1185	1183	1181	1174	23
1198	1196	1194	1191	1184	24
-	1204	1202	1199	1193	25

الجدول 34: معامل التوصيل الحراري لمحلول NaCl بحسب درجة الحرارة

يُدرج في الجدول التالي قيم معامل التوصيل الحراري لمحاليل كلور الصوديوم NaCl ذي التراكيز المختلفة عند درجات حرارة سالبة. يتغير تركيز ملح NaCl في المحلول من 0.1% وحتى 26.3% عند تغير درجة حرارته من -15°C وحتى 0°C . من الجدول نلاحظ أنه مع ازدياد تركيز الملح فإن معامل التوصيل الحراري له يتناقص.

$\lambda [W/mK]$	محتوى الملح %	$\lambda [W/mK]$	محتوى الملح %	$\lambda [W/mK]$	محتوى الملح %
$t = 0^{\circ}\text{C}$					
0.542	21.2	0.560	11.0	0.581	0.1
0.541	22.4	0.558	12.3	0.578	1.5
0.540	23.1*	0.556	13.6	0.576	2.9
0.538	23.7	0.553	14.9	0.573	4.3
0.536	24.9	0.551	16.2	0.571	5.6
0.534	26.1	0.549	17.5	0.569	7.0
0.534	26.3	0.547	18.8	0.566	8.3
		0.544	20.0	0.564	9.6
$t = -5^{\circ}\text{C}$					
0.524	21.2	0.535	14.9	0.547	8.3
0.522	22.4	0.533	16.2	0.544	9.6
0.521	23.1*	0.531	17.5	0.542	11.0
0.520	23.7	0.529	18.8	0.540	12.3
0.519	24.9	0.527	20.0	0.537	13.6
$t = -10^{\circ}\text{C}$					
0.506	22.4	0.512	18.8	0.519	14.9
0.505	23.1*	0.509	20.0	0.516	16.2
0.503	23.7	0.507	21.2	0.514	17.5
$t = -15^{\circ}\text{C}$					
0.490	23.1*	0.493	21.2	0.497	18.8
0.488	23.7	0.491	22.4	0.495	20.0

الجدول 35: السعة الحرارية لمحلول NaCl عند 0°C

في الجدول مدرجة قيم السعة الحرارية الكتلية لمحلول كلور الكالسيوم NaCl بتركيز مختلفة عند الدرجة 0°C. تغير تراكيز ملح NaCl في المحلول من 0.1% وحتى 26.3% ، وكما هو مبين من الجدول أنه مع ازدياد تركيز الملح في المحلول ، فإن سعته الحرارية تتناقص.

المحتوى %	$c[kJ/kg K]$	المحتوى %	$c[kJ/kg K]$	المحتوى %	$c[kJ/kg K]$
21.2	3.375	11.0	3.676	0.1	4.191
22.4	3.341	12.3	3.630	1.5	4.074
23.1*	3.324	13.6	3.588	2.9	4.003
23.7	3.312	14.9	3.550	4.3	3.940
24.9	3.282	16.2	3.513	5.6	3.881
26.1	3.257	17.5	3.475	7.0	3.827
26.3	3.249	18.8	3.442	8.3	3.772
		20.0	3.408	9.6	3.722

الجدول 36: الخواص الفيزيائية لمحلول NaCl بحسب درجة حرارة وتركيز

الملح

يتراوح تركيز ملح NaCl في المحلول من 7% وحتى 23.1%.

μ [Pa s]	λ [W / mK]	c [kJ / kgK]	t [°C]	t_s [°C]	ρ [kg / m ³]	تركيز الملح في المحلول
0.00001078	0.593	3.843	20	-4.4	1050	7%
0.00001412	0.576	3.835	10			
0.00001873	0.559	3.827	0			
0.00002158	0.556	3.818	-4			
0.00001147	0.593	3.697	20	-7.5	1080	11%
0.0000152	0.570	3.684	10			
0.0000202	0.556	3.676	0			
0.00002442	0.549	3.672	-5			
0.00002648	0.545	3.672	-7.5			
0.00001226	0.593	3.609	20	-9.8	1100	13.6%
0.00001618	0.568	3.601	10			
0.00002148	0.554	3.588	0			
0.00002608	0.547	3.584	-5			
0.00003432	0.540	3.580	-9.8			
0.00001314	0.573	3.534	20	-12.2	1120	16.2%
0.00001726	0.569	3.525	10			
0.00002226	0.552	3.512	0			
0.00002834	0.544	3.508	-5			
0.00003491	0.535	3.504	-10			
0.00004217	0.533	3.500	-12.2			
0.00001432	0.582	3.462	20	-15.1	1140	18.8%
0.00001854	0.566	3.454	10			
0.0000256	0.550	3.442	0			
0.00003118	0.542	3.433	-5			
0.00003874	0.533	3.429	-10			
0.00004776	0.524	3.425	-15			

0.00001549	0.579	3.396	20	-18.2	1160	21.2%
0.0000201	0.563	3.383	10			
0.00002824	0.547	3.375	0			
0.00003442	0.539	3.366	-5			
0.00004305	0.530	3.362	-10			
0.00005276	0.522	3.358	-15			
0.0000608	0.518	3.354	-18	-21.2	1175	23.1%
0.00001667	0.565	3.345	20			
0.00002157	0.549	3.337	10			
0.0000304	0.544	3.324	0			
0.00003746	0.536	3.320	-5			
0.00004707	0.528	3.312	-10			
0.00005747	0.520	3.308	-15			
0.00007747	0.514	3.303	-21			

الجدول 37: كثافة محلول CaCl_2 بدلالة درجة الحرارة

يُدرج في الجدول التالي قيم كثافة محاليل كلور الكالسيوم CaCl_2 ذي التراكيز المختلفة بدلالة درجة الحرارة. يتراوح تركيز ملح CaCl_2 في المحلول من 15% وحتى 30% بينما تتغير درجة حرارته من -30°C حتى 15°C .

الكثافة $[\text{kg} / \text{m}^3]$					محتوى الملح %
-30°C	-20°C	-10°C	0°C	15°C	
-	-	1140	1137	1132	15
-	-	1150	1147	1142	16
-	-	1160	1157	1151	17
-	-	1170	1167	1161	18
-	-	1180	1177	1171	19
-	-	1190	1197	1181	20
-	1205	1201	1197	1191	21
-	1215	1211	1207	1201	22
-	1226	1222	1218	1211	23
-	1237	1238	1228	1222	24
-	1248	1244	1239	1232	25
1263	1259	1254	1250	1243	26
1275	1270	1266	1261	1252	27
1287	1282	1277	1272	1264	28
1298	1293	1288	1283	1275	29
1310	1304	1298	1294	1286	30

الجدول 38: معامل التوصيل الحراري لمحلول CaCl_2 بحسب درجة الحرارة

يُدرج في الجدول التالي قيم معامل التوصيل الحراري لمحاليل كلور الكالسيوم CaCl_2 ذي التراكيز المختلفة عند درجات حرارة سالبة. يتغير تركيز ملح CaCl_2 في المحلول من 0.1% وحتى 37.3% عند تغير درجة حرارته من -20°C وحتى 0°C . من الجدول نلاحظ أنه مع ازدياد تركيز الملح فإن معامل التوصيل الحراري له يتناقص.

$\lambda [W/mK]$	محتوى الملح %	$\lambda [W/mK]$	محتوى الملح %	$\lambda [W/mK]$	محتوى الملح %
$t = 0^\circ\text{C}$					
0.483	27.5	0.541	14.7	0.581	0.1
0.479	28.4	0.538	15.8	0.579	1.3
0.474	29.4	0.534	16.8	0.575	2.5
0.472	29.9*	0.530	17.8	0.573	3.6
0.469	30.3	0.525	18.9	0.569	4.8
0.465	31.2	0.521	19.9	0.567	5.9
0.460	32.1	0.516	20.9	0.564	7.1
0.457	33.0	0.511	21.9	0.561	8.3
0.452	33.9	0.507	22.8	0.558	9.4
0.447	34.7	0.502	23.8	0.555	10.5
0.443	35.6	0.497	24.7	0.552	11.5
0.439	36.4	0.493	25.7	0.548	12.6
0.434	37.3	0.488	26.6	0.545	13.7
$t = -10^\circ\text{C}$					
0.457	29.9*	0.483	22.8	0.509	14.7
0.455	30.3	0.480	23.8	0.506	15.8
0.452	31.2	0.476	24.7	0.503	16.8
0.448	32.1	0.473	25.7	0.500	17.8
0.444	33.0	0.469	26.6	0.497	18.9
0.440	33.9	0.466	27.5	0.493	19.9
0.437	34.7	0.462	28.4	0.489	20.9
0.432	35.6	0.459	29.4	0.486	21.9

$t = -20^{\circ}\text{C}$					
0.442	30.3	0.452	26.6	0.465	21.9
0.438	31.2	0.448	27.5	0.462	22.8
0.436	32.1	0.446	28.4	0.459	23.8
0.433	33.0	0.444	29.4	0.457	24.7
0.431	33.9	0.443	29.9*	0.454	25.7



الجدول 39: السعة الحرارية لمحلول CaCl_2 عند 0°C

في الجدول مدرجة قيم السعة الحرارية الكتلية لمحلول كلور الكالسيوم CaCl_2 بتركيزات مختلفة عند الدرجة 0°C .

تغير تركيز ملح CaCl_2 في المحلول من 0.1% وحتى 37.3%، وكما هو مبين من الجدول أنه مع ازدياد تركيز الملح في المحلول، فإن سعته الحرارية تتناقص.

المحتوى %	$c[\text{kJ/kg K}]$	المحتوى %	$c[\text{kJ/kg K}]$	المحتوى %	$c[\text{kJ/kg K}]$
0.1	4.199	15.8	3.274	29.4	2.755
2.5	4.053	17.8	3.174	29.9*	2.738
4.8	3.902	19.9	3.086	31.2	2.700
7.1	3.764	21.9	3.002	33.0	2.650
9.4	3.626	23.8	2.931	34.7	2.600
11.5	3.500	25.7	2.868	36.4	2.554
13.7	3.383	27.5	2.809	37.3	2.529

الجدول 40: الخواص الفيزيوقحرارية لمحلول CaCl_2 بحسب درجة حرارة وتركيز

الملح

يتراوح تركيز ملح NaCl في المحلول من 9.4% وحتى 29.9% .

μ [Pa s]	λ [W / mK]	c [kJ / kgK]	t [°C]	t_s [°C]	ρ [kg / m ³]	تركيز الملح في المحلول
0.00001236	0.584	3.642	20	-5.2	1080	9.4%
0.00001549	0.570	3.634	10			
0.00002158	0.556	3.626	0			
0.00002548	0.549	3.601	-5			
0.00001491	0.576	3.362	20	-10.2	1130	14.7%
0.00001863	0.563	3.349	10			
0.00002560	0.549	3.328	0			
0.00003040	0.542	3.316	-5			
0.00004060	0.534	3.308	-10	-15.7	1170	18.9%
0.00001804	0.572	3.148	20			
0.00002236	0.558	3.140	10			
0.00002991	0.544	3.128	0			
0.00003432	0.537	3.098	-5			
0.00004668	0.529	3.086	-10			
0.00006149	0.523	3.065	-15	-19.2	1190	20.9%
0.00002001	0.569	3.077	20			
0.00002452	0.555	3.056	10			
0.00003275	0.542	3.044	0			
0.00003825	0.535	3.034	-5			
0.00005070	0.527	3.024	-10			
0.00006590	0.521	3.014	-15	-25.7	1220	23.8%
0.00002354	0.565	2.998	20			
0.00002873	0.551	2.952	10			
0.00003815	0.538	2.931	0			
0.00004413	0.530	2.910	-5			
0.00005923	0.523	2.910	-10			

0.00007551	0.518	2.910	-15			
0.00009473	0.511	2.889	-20			
0.00011572	0.504	2.889	-25			
0.00002628	0.480	2.889	20	-31.3	1240	25.7%
0.00003217	0.548	2.879	10			
0.00004256	0.535	2.868	0			
0.00006678	0.521	2.847	-10			
0.00008365	0.514	2.847	-15			
0.00010562	0.508	2.805	-20			
0.00012915	0.501	2.805	-25			
0.00014808	0.494	2.763	-30			
0.00002932	0.558	2.847	20	-38.6	1260	27.5%
0.00003609	0.545	2.826	10			
0.00004805	0.532	2.809	0			
0.00007522	0.519	2.784	-10			
0.00011866	0.506	2.763	-20			
0.00014710	0.499	2.742	-25			
0.00017161	0.492	2.742	-30			
0.00021574	0.486	2.721	-35			
0.00003138	0.557	2.805	20	-43.6	1270	28.4%
0.00005119	0.529	2.780	0			
0.00008022	0.518	2.763	-10			
0.00012651	0.505	2.721	-20			
0.00015985	0.498	2.721	-25			
0.00018829	0.491	2.575	-30			
0.00024517	0.484	2.700	-35			
0.00030401	0.478	2.554	-40			
0.00003403	0.555	2.805	20	-50.1	1280	29.4%
0.00005492	0.528	2.755	0			
0.00008630	0.516	2.721	-10			
0.00013827	0.504	2.680	-20			
0.00021280	0.490	2.659	-30			

0.00025497	0.483	2.638	-35			
0.00032362	0.477	2.638	-40			
0.00040207	0.465	2.617	-45			
0.00049033	0.464	2.617	-50			
0.00003511	0.538	2.742	20	-55	1286	29.9%
0.00005688	0.528	2.738	0			
0.00009042	0.515	2.575	-10			
0.00014416	0.502	2.680	-20			
0.00022555	0.488	2.659	-30			
0.00028439	0.483	2.638	-35			
0.00035304	0.476	2.638	-40			
0.00043149	0.470	2.617	-45			
0.00050995	0.463	2.617	-50			
0.00064724	0.456	5.596	-55			

الجدول 41: بارامترات الهواء الرطب عند 750 mmHg

ρ [kg/m ³]	i [kJ/kg]	i'' [kJ/kg]	i_c [kJ/kg]	c_{paw} [kJ/kgK]	c_p [kJ/kgK]	d'' [g/kg]	p [Pa]	t [°C]
1,377	-18,54	1,58	-20,12	1,0072	1,006	0,641	102,9	-20
1,366	-16,19	1,92	-18,11	1,0075	1,006	0,776	124,6	-18
1,355	-13,78	2,32	-16,10	1,0078	1,006	0,937	150,4	-16
1,344	-11,30	2,78	-14,08	1,0081	1,006	1,127	180,9	-14
1,334	-8,72	3,05	-12,07	1,0085	1,006	1,352	216,9	-12
1,324	-6,04	4,02	-10,06	1,0090	1,006	1,618	259,4	-10
1,313	-3,25	4,8	-8,05	1,0096	1,006	1,931	309,4	- 8
1,303	-0,31	5,73	-6,04	1,0103	1,006	2,298	368,1	- 6
1,293	2,78	6,8	-4,02	1,0111	1,006	2,729	436,8	- 4
1,283	6,06	8,07	-2,01	1,0120	1,006	3,233	517,1	- 2
1,273	9,56	9,56	0,0	1,0131	1,006	3,823	610,8	0
1,264	13,08	11,07	2,01	1,0143	1,006	4,419	705,4	2
1,254	16,81	12,79	4,02	1,0155	1,006	5,098	812,9	4
1,244	20,78	14,74	6,04	1,0170	1,006	5,868	934,6	6
1,235	25,01	16,96	8,05	1,0186	1,006	6,741	1072,1	8
1,225	29,53	19,47	10,06	1,0205	1,006	7,727	1227,1	10
1,216	34,38	22,31	12,07	1,0225	1,006	8,841	1401,5	12
1,207	39,60	25,52	14,08	1,0249	1,006	10,097	1597,4	14
1,197	45,23	29,13	16,10	1,0275	1,006	11,511	1817	16
1,188	51,31	33,2	18,11	1,0305	1,006	13,100	2062,6	18
1,179	57,90	37,78	20,12	1,0339	1,006	14,883	2336,8	20
1,169	65,05	42,92	22,13	1,0379	1,00604	16,882	2642,4	22
1,160	72,83	48,68	24,15	1,0416	1,00608	19,121	2982,4	24
1,150	81,30	55,14	26,16	1,0472	1,00612	21,626	3360,0	26
1,141	90,54	62,37	28,17	1,0510	1,00616	24,425	3778,5	28
1,131	100,64	70,45	30,19	1,0586	1,0062	27,552	4241,7	30

1,122	111,69	79,49	32,20	1,0642	1,00624	31,043	4753,6	32
1,113	123,81	89,6	34,21	1,0718	1,00628	34,937	5318,2	34
1,102	137,11	100,88	36,23	1,0792	1,00632	39,281	5940,1	36



الجدول 42: الخواص الفيزيائية للهواء الجاف عند 760 mmHg

t [°C]	ρ [kg / m ³]	c_p [kJ / kgK]	λ [W / mK]	μ [Pa s]
-50	1.584	1.013	0.0204	0.0000146
-40	1.515	1.013	0.0212	0.0000152
-30	1.453	1.013	0.0220	0.0000157
-20	1.395	1.009	0.0228	0.0000162
-10	1.342	1.009	0.0236	0.0000167
0	1.293	1.005	0.0244	0.0000172
10	1.247	1.005	0.0251	0.0000176
20	1.205	1.005	0.0259	0.0000181
30	1.165	1.005	0.0267	0.0000186
40	1.128	1.005	0.0276	0.0000191
50	1.093	1.005	0.0283	0.0000196
60	1.060	1.005	0.0290	0.0000201
70	1.029	1.009	0.0296	0.0000206
80	1.000	1.009	0.0305	0.0000211
90	0.972	1.009	0.0313	0.0000215
100	0.946	1.009	0.0321	0.0000219
120	0.898	1.009	0.0334	0.0000228
140	0.854	1.013	0.0349	0.0000237
160	0.815	1.017	0.0364	0.0000245
180	0.779	1.022	0.0378	0.0000253
200	0.746	1.026	0.0393	0.0000260
250	0.674	1.038	0.0427	0.0000274
300	0.615	1.047	0.0460	0.0000297
350	0.566	1.059	0.0491	0.0000314
400	0.524	1.068	0.0521	0.0000330
500	0.456	1.093	0.0574	0.0000362

600	0.404	1.114	0.0622	0.0000391
700	0.362	1.135	0.0671	0.0000418
800	0.329	1.156	0.0718	0.0000443
900	0.301	1.172	0.0763	0.0000467
1000	0.277	1.185	0.0807	0.0000490
1100	0.257	1.197	0.0850	0.0000512
1200	0.39	1.210	0.0915	0.0000535

الجدول 43: الخواص الفيزيائية للحليب

t [°C]	ρ [kg / m ³]	c_p [kJ / kgK]	λ [W / mK]	ν [m ² / s]
0	1040	3.85	0.520	0.000002980
10	1033	3.88	0.531	0.000002393
20	1028	3.94	0.542	0.000001740
30	1024	3.94	0.553	0.000001300
40	1020	3.96	0.564	0.000001020
50	1015	3.97	0.575	0.000000837
60	1010	3.98	0.586	0.000000703
70	1005	3.99	0.597	0.000000617
80	1000	4.00	0.608	0.000000570
90	993	4.00	0.619	0.000000550

لمحة موجزة عن مخططات $i-lg p$ المستخدمة في دراسة آلات التبريد الضاغطة البخارية وكيفية العمل عليها

هيكلية مخططات وسائط التبريد المستخدمة في آلات التبريد الضاغطة البخارية

مخطط $i-lg p$ للفرينون R11

مخطط $i-lg p$ للفرينون R12

مخطط $i-lg p$ للفرينون R13

مخطط $i-lg p$ للفرينون R22

مخطط $i-lg p$ للفرينون R23

مخطط $i-lg p$ للفرينون R32

مخطط $i-lg p$ للفرينون R113

مخطط $i-lg p$ للفرينون R123

مخطط $i-lg p$ للفرينون R134a

مخطط $i-lg p$ للفرينون R142b

مخطط $i-lg p$ للإيثان R170

مخطط $i-lg p$ للفرينون R404A

مخطط $i-lg p$ للفرينون R407C

مخطط $i-lg p$ للفرينون R410A

مخطط $i-lg p$ للفرينون R502

مخطط $i-lg p$ للأمونيا R717

مخطط $i-lg p$ للماء R718

مخطط $i-lg p$ لثاني أكسيد الكربون R744

مخطط $i-lg p$ لمحلول الماء - الأمونيا

مخطط $i-lg p$ لمحلول الماء - بروميد الليثيوم



هيكلية مخططات وسائط التبريد المستخدمة في آلات التبريد الضاغطة البخارية

استثمار محطات التبريد لا يمكن تحقيقه من دون الفهم الصحيح للعمليات الترموديناميكية التي تجري فيها. دراسة العمليات المستقلة الداخلة في دورة العمل لآلة تبريد ضاغطة بخارية، وكذلك الارتباط فيما بينهما ، والتأثير المتبادل ببعضهما البعض يمكن تبسيطه بدرجة كبيرة عند استعمال المخططات الترموديناميكية لوسائط التبريد التي يعد استعمالها ضرورياً من أجل التحكم وتحليل البارامترات المؤثرة في محطات التبريد. من أجل كل وسيط تبريد يوجد المخطط الترموديناميكي الخاص به، غير أن مبدأ إنشائه وطريقة استعماله هي واحدة.

يوجد نوعان من مخططات وسائط التبريد: $T - s$ و $i - \lg p$ ، لكن الأكثر انتشاراً وراحة بالاستخدام هو مخطط $i - \lg p$ (أحياناً يرمز للانتالبي في بعض المراجع بـ h وعندها يرمز للمخطط بـ $h - \lg p$) فهو الأفضل للحسابات الحرارية اللاحقة حيث تمثل قيم الانتالبي النوعي $i [kJ/kg]$ على محور السينات وقيم الضغط (مقدراً بالباسكال أو أي واحدة أخرى مشتقة $10^6 Pa = 10 bar$, $10^3 Pa = 1 kPa$) على محور العيّنات. والذي سوف نقوم بشرح آلية العمل عليه بالتفصيل.

يقوم التبريد الصناعي في آلات التبريد الضاغطة البخارية أساساً على عملية غليان وسائط التبريد بدرجات حرارة منخفضة، وبنتيجة ذلك تنتقل من الحالة السائلة إلى البخارية، من جراء اكتساب كمية من الحرارة من المواد المراد تبريدها. من أجل جعل عملية التبريد الصناعي دورة مغلقة تعيد نفسها، فإنهم يوجهون بخار وسيط التبريد إلى الضاغط، حيث تجري عملية انضغاط له رافعين بذلك درجة حرارته إلى قيمة أعلى من درجة حرارة الوسط المحيط (الماء أو الهواء أو الاثنين معاً)، بعدها يكتفون البخار عن طريق تبريده. النتيجة التي توصلنا لها، أنه تجري في آلة التبريد الضاغطة البخارية عمليتين متغيرتين طوري لمركب وسيط التبريد: من الحالة السائلة إلى بخار وهي عملية الغليان ومن البخار إلى السائل وهي عملية التكاثف. هاتان العمليتان (الغليان والتكاثف) مع العمليات الأخرى التي يتعرض لها أي وسيط تبريد تمثل على جميع المخططات.

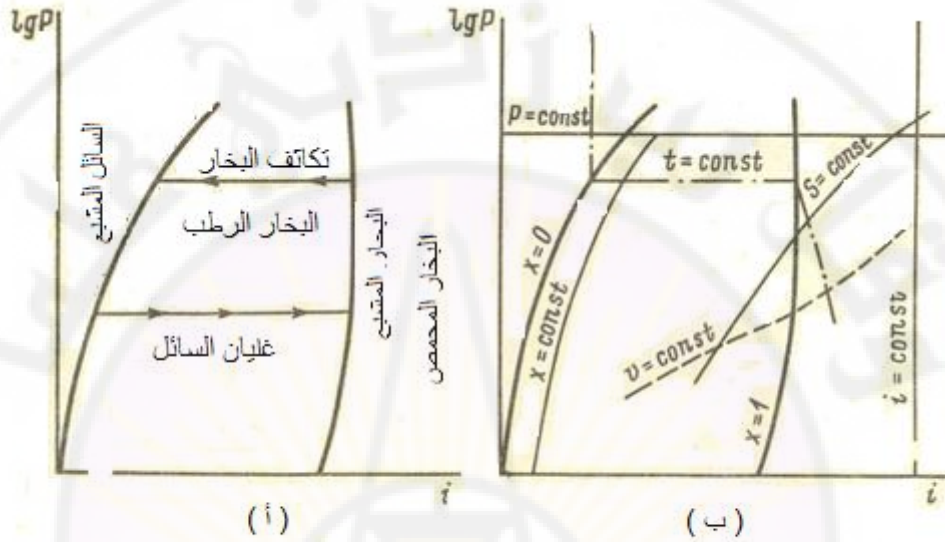
يسمح التمثيل البياني للدورة التبريدية بدراسة التغيرات المختلفة الحاصلة في حالات وسيط التبريد الجارية خلال تحقيق الدورة التبريدية وتأثير هذه التغيرات في عمل الدورة.

تمثل حالات وسيط التبريد على هذا المخطط (وغيره من المخططات) بنقطة، والتي يتطلب تحديدها معرفة بارامترين اثنين لها. حيث تحمل على أي مخطط ولأي وسيط تبريد خطوط $T = const.$ و $v = const.$ بالإضافة للبارامترات المقاسة المحملة على هذه المخططات، فإنهم يضعون عليها البارامترات المحسوبة مثال عليها الانتالبي النوعي $i [kJ/kg]$.

توجد على المنحنيين الحديين السائلي أو البخاري لوسيط التبريد بارامترات الإشباع، حيث تمثل حالة الطور الأحادي، أي إما سائل مشبع لوسيط التبريد أو بخار مشبع جاف للوسيط.

عند قيمة الضغط p نفسها فإن حالات السائل المشبع والبخار الرطب والبخار المشبع لها درجة الحرارة نفسها، أما السائل مع زيادة تبريد فإن درجة حرارته t تكون أقل بينما للبخار المحمص فتكون درجة حرارته أعلى. بهذه الصورة فإن مؤشرات المانومتريات في الحالات المذكورة أعلاه ستكون نفسها بينما درجة الحرارة ستكون متباينة.

عند العمل مع مخطط $i - \lg p$ يجب الانتباه إلى أنه يمكن تقسيمه إلى ثلاث مناطق الشكل (4-أ):



العمليات الترموديناميكية الأساسية المناطق الطورية الثلاثة مع المنحنيين الحديين

الشكل 4

- ١- منطقة السائل وتقع على يسار خط السائل المشبع (المنحني الحدي الأدنى $\chi = 0$)
 - ٢- منطقة الخليط لسائل وسيط التبريد مع بخاره (منطقة البخار المشبع الرطب) والواقعة بين المنحنيين الحديين $\chi = 0$ و $\chi = 1$.
 - ٣- منطقة البخار المحمص الواقعة على يمين خط البخار المشبع الجاف (المنحني الحدي الأعلى $\chi = 1$)
- يمكن بمساعدة مخطط $i - \lg p$ تحديد البارامترات الستة لوسيط التبريد والتي هي ممثلة على شكل خطوط مختلفة مبينة على الشكل (4-ب). القيم العددية للبارامترات الأساسية معطاة بقيم نوعية أي منسوبة لـ 1 kg من وسيط التبريد وهذه القيم متوضعة فوق الخطوط الموافقة لتلك القيم. أما خطوط ثبات كسر الجفاف فإنها موجودة فقط في منطقة البخار الرطب المحصورة بالمنحنيين الحديين وتمر جميعها بالنقطة الحرجة ويرمز لها بالرمز x .
- خطوط ثبوت الضغط - الإيزوبارات** ($p = \text{const.}$): عبارة عن خطوط أفقية في مناطق المخطط الثلاث. يستخدم المقياس اللوغاريتمي في تمثيل الإيزوبار بسبب عدم تساوي مقياس الضغط في منطقتي الضغط الناقص والزائد. قيم الضغط المطلق بوحدة البار أو بالميجاباسكال مدرجة على المحور الشاقولي المرموز له بالحرف p .
- خطوط ثبوت درجة الحرارة - الإيزوترمات** ($T = \text{const.}$): تكون في منطقة السائل تقريباً عمودية. وتصبح خطوطاً أفقية في منطقة البخار الرطب. في هذه المنطقة تنطبق الإيزوترمات مع الإيزوبارات، حيث تتغير الحالة

الطورية لوسيط التبريد عند ثبات كل من p و t . في منطقة البخار المحمص تسلك الإيزوترمات شكل خطوط منحنية تقعها نحو الأسفل. قيم درجات الحرارة على المخطط تقدر بـ $^{\circ}C$ ، وهي مكتوبة مباشرة على المسارات ولجميع المناطق.

التعريف الرياضي للانتالبي النوعي (أو مخزون الدفاء) كما هو معروف من مقرر الترموديناميك هو

$$i = u + pv$$

حيث: u [kJ/kg] الطاقة الداخلية.

$$pv$$
 [kJ/kg] جداء الضغط المطلق (بالكيلوباسكال) بالحجم النوعي v مقدراً بـ m^3/kg .

خطوط ثبات الانتالبي النوعي (ثبات المحتوى الحراري) ($i = \text{const.}$): تمثل بخطوط شاقولية ولجميع

المناطق. أما القيم العددية لها بواحدات kJ/kg فهي مكتوبة على المحور الأفقي العلوي والسفلي من المخطط.

خطوط ثبات الحجم النوعي - الإيزوخورات ($v = \text{const.}$): تمثل بخطوط منحنية متقطعة وهي ممثلة في

منطقتي البخار الرطب والمحمص. في منطقة السائل غير موضحة بسبب الضالة الكبيرة لحجم السائل مقارنة مع حجم البخار، الأمر الذي يؤدي إلى تعقيد إظهارها وفق مقياس المخطط. لهذا فإن الحجم النوعي لسائل وسيط التبريد لا يمكن تحديده وفق مخطط $i - \lg p$ ، بل نعتمد في تحديده على جداول أبخرة وسائط التبريد المشبعة. قيم الحجم النوعي المستخدمة هي بوحدة m^3/kg ومتوضعة فوق خطوط الإيزوخورات المارة كما ذكرنا في منطقة البخار الرطب والمحمص ويرمز له بالرمز v .

من البارامترات الحسابية أيضاً الانتروبي S . في الحسابات وعلى المخططات يستعملون قيمة الانتروبي

$$s$$
 [kJ/kg K] النوعي

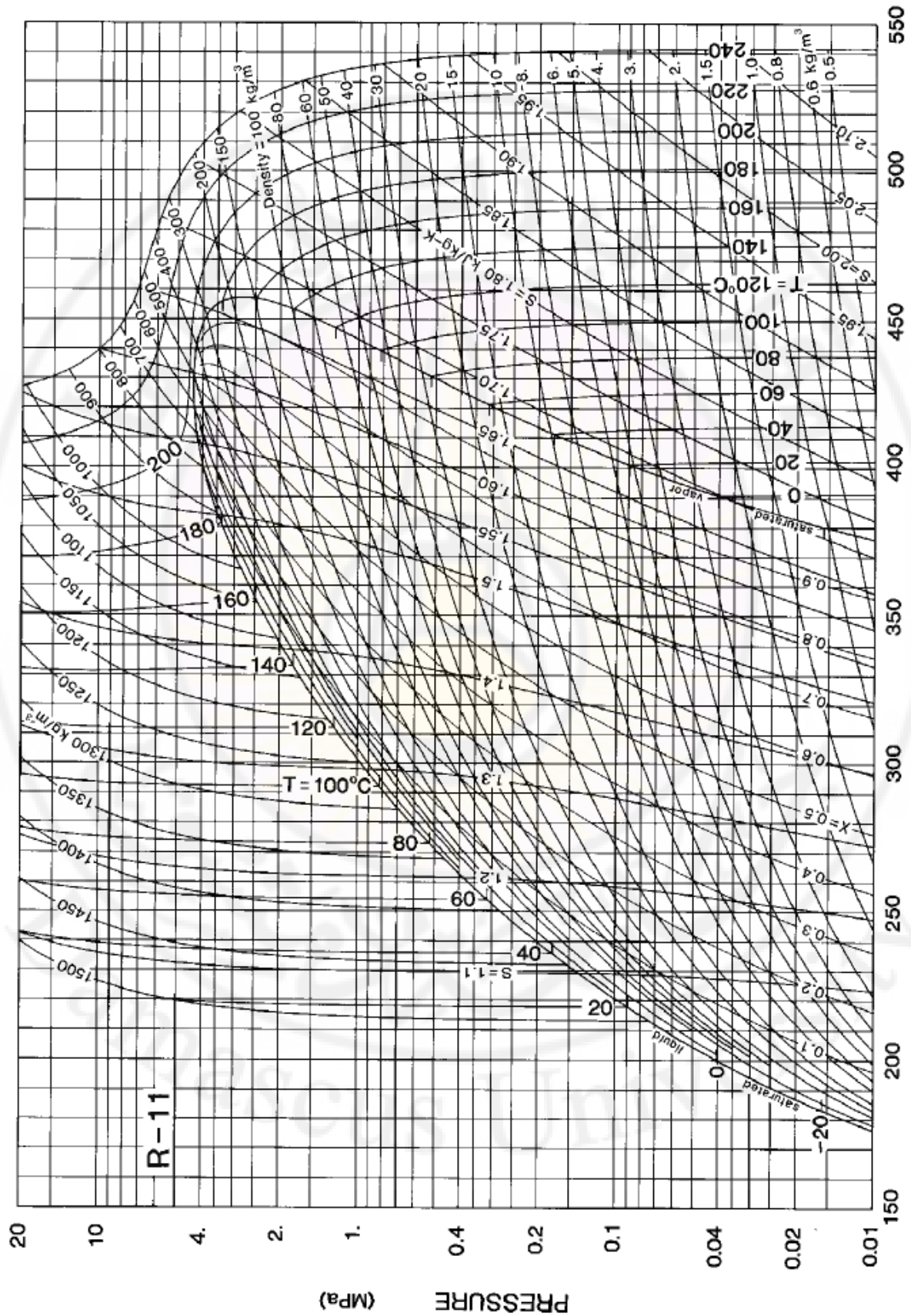
خطوط ثبات الانتروبي النوعي ($s = \text{const.}$): تعبر مناطق المخطط بشكل قطري. الانتروبي بالتعريف

بارامتر حالة للجملة الترموديناميكية، وهو يصف اتجاه جريان عملية التبادل الحراري بين الجملة والوسط الخارجي. واحدة قياس الأنتروبي النوعي هي $[kJ/kg K]$ وهي مكتوبة فوق منحنيات خطوط الانتروبي.

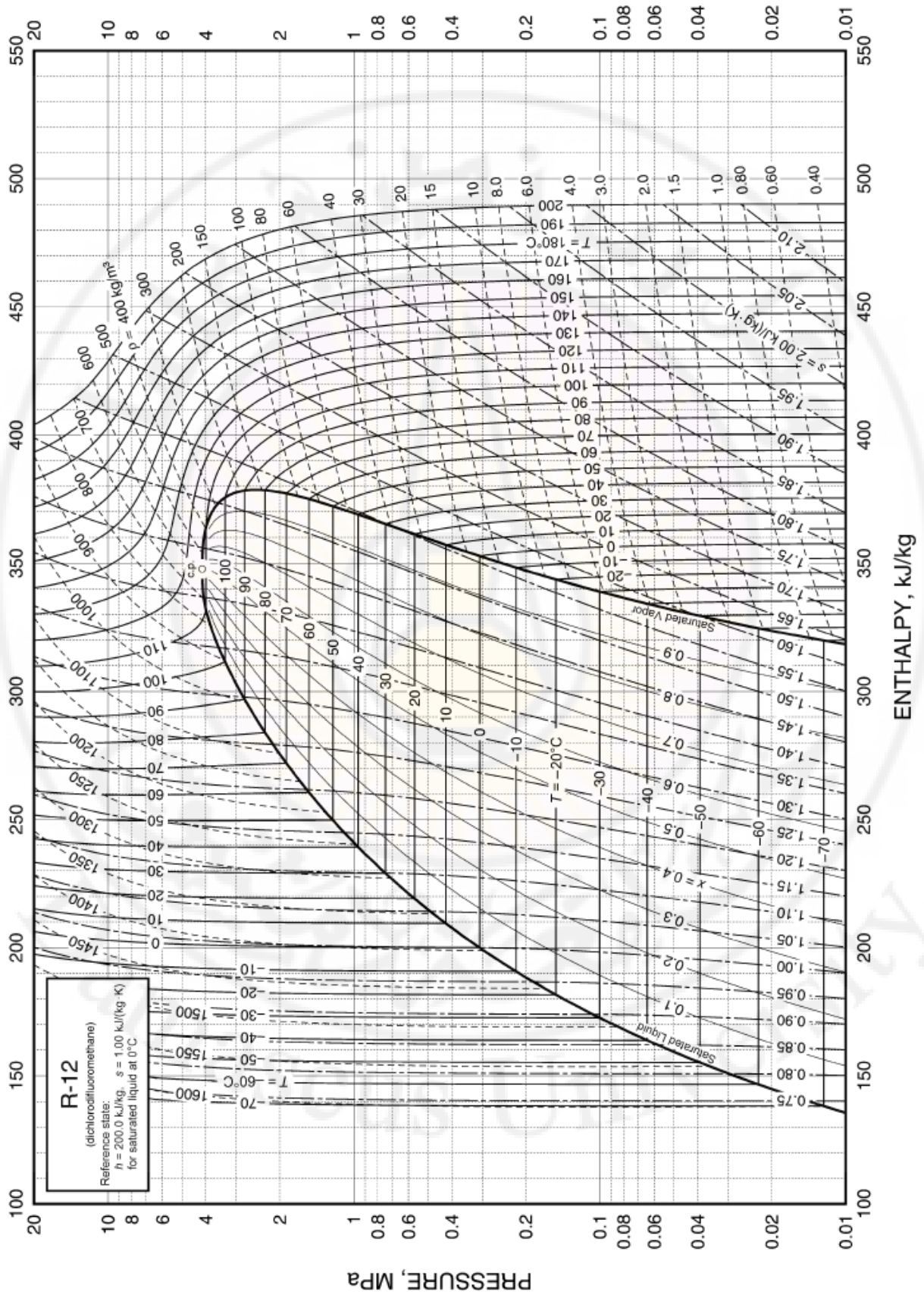
كل نقطة من المخطط توافق حالة محددة لوسيط التبريد ببارامترات محددة. إذا وصلنا بين حالتين محددتين بخط فيكون الأخير هو بمثابة العملية التيرموديناميكية الجارية على وسيط التبريد. (أحياناً توجد مخططات لوسائط التبريد محذوفة منها الجزء الوسطي من المخطط في منطقة البخار الرطب، لأن بارامترات وسائط التبريد في هذه المنطقة لا تعني أي اهتمام من أجل تحليل وحساب محطات التبريد).

الميزة الأساسية لمخطط $i - \lg p$ هي أن كميات الحرارة المعطاة (أو المفقودة) خلال العمليات الترموديناميكية الجارية على وسيط التبريد في آلة التبريد الضاغطة البخارية أحادية أو متعددة المراحل (في المبخر وفي المكثف أو أي مبادل حراري ضمن الآلة) تقاس بأطوال القطع المستقيمة المحدودة ببداية ونهاية العملية الجارية ضمن أجهزة التبادل الحراري، حتى إن العمل المصروف لإنجاز عمل هذه الدورة يقاس بطول القطعة المستقيمة المحددة ببداية الدخول والخروج من الضاغط.

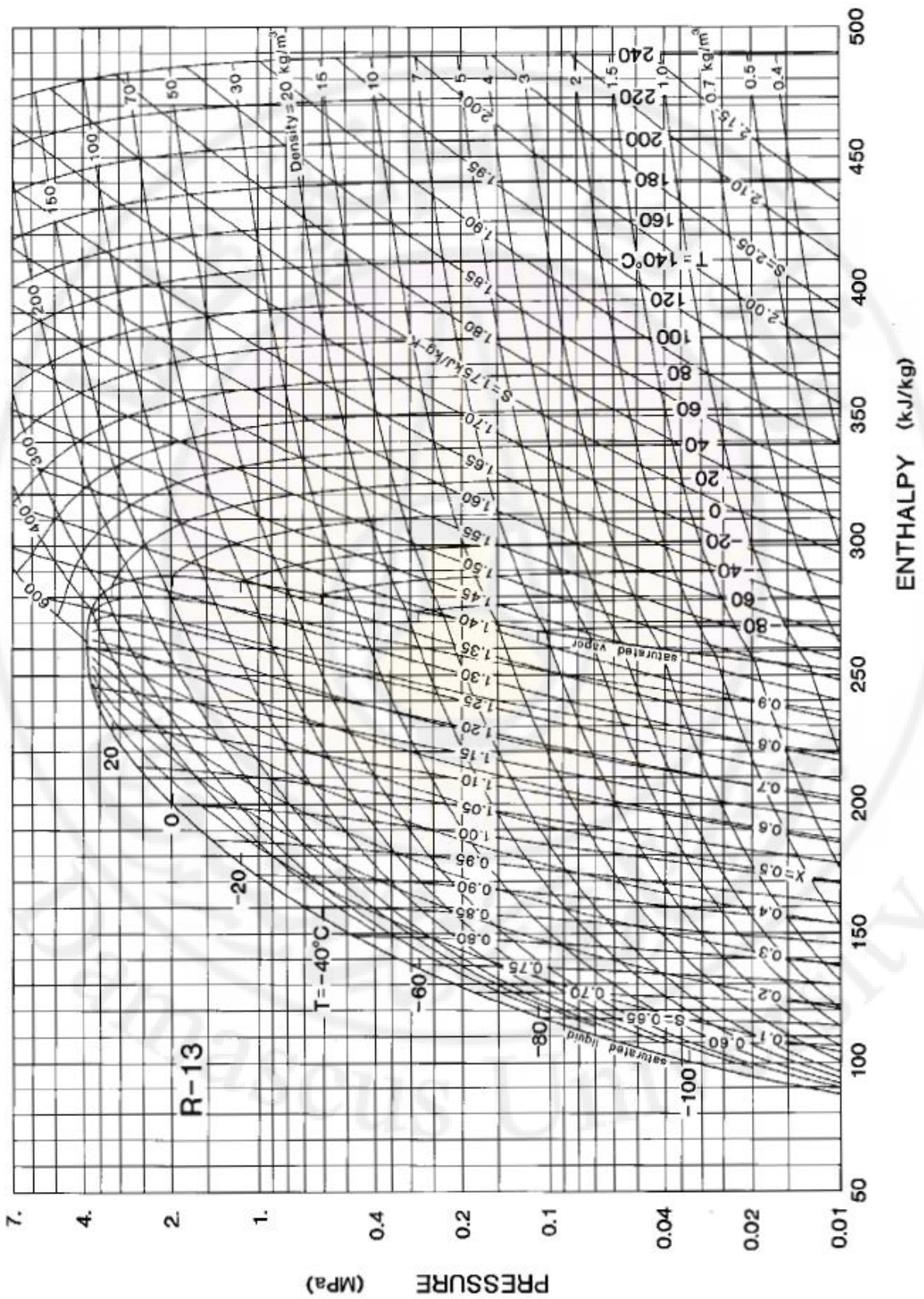
مخطط i - $lg\ p$ للفریون R11



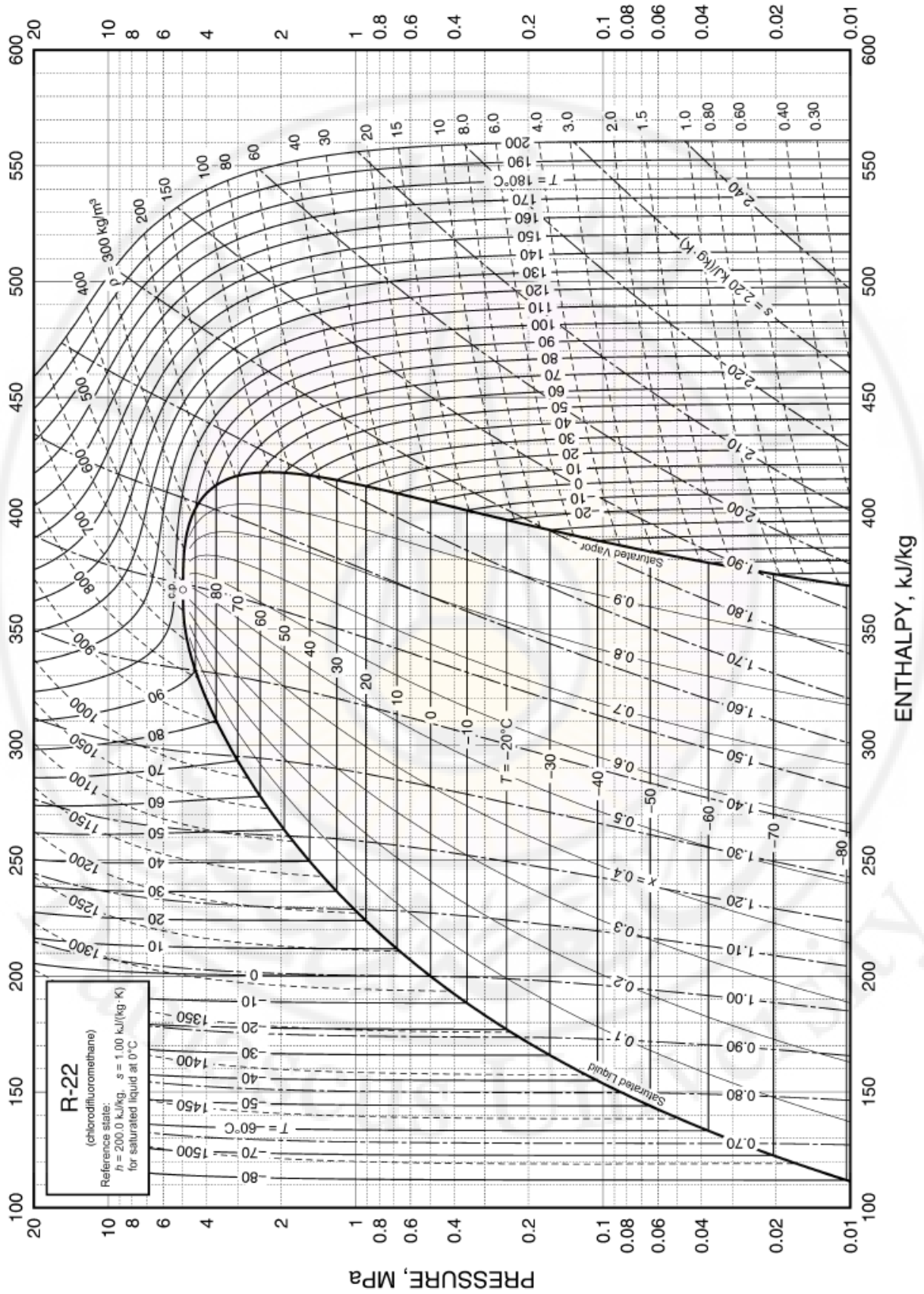
مخطط i - lgp للفرينون R12



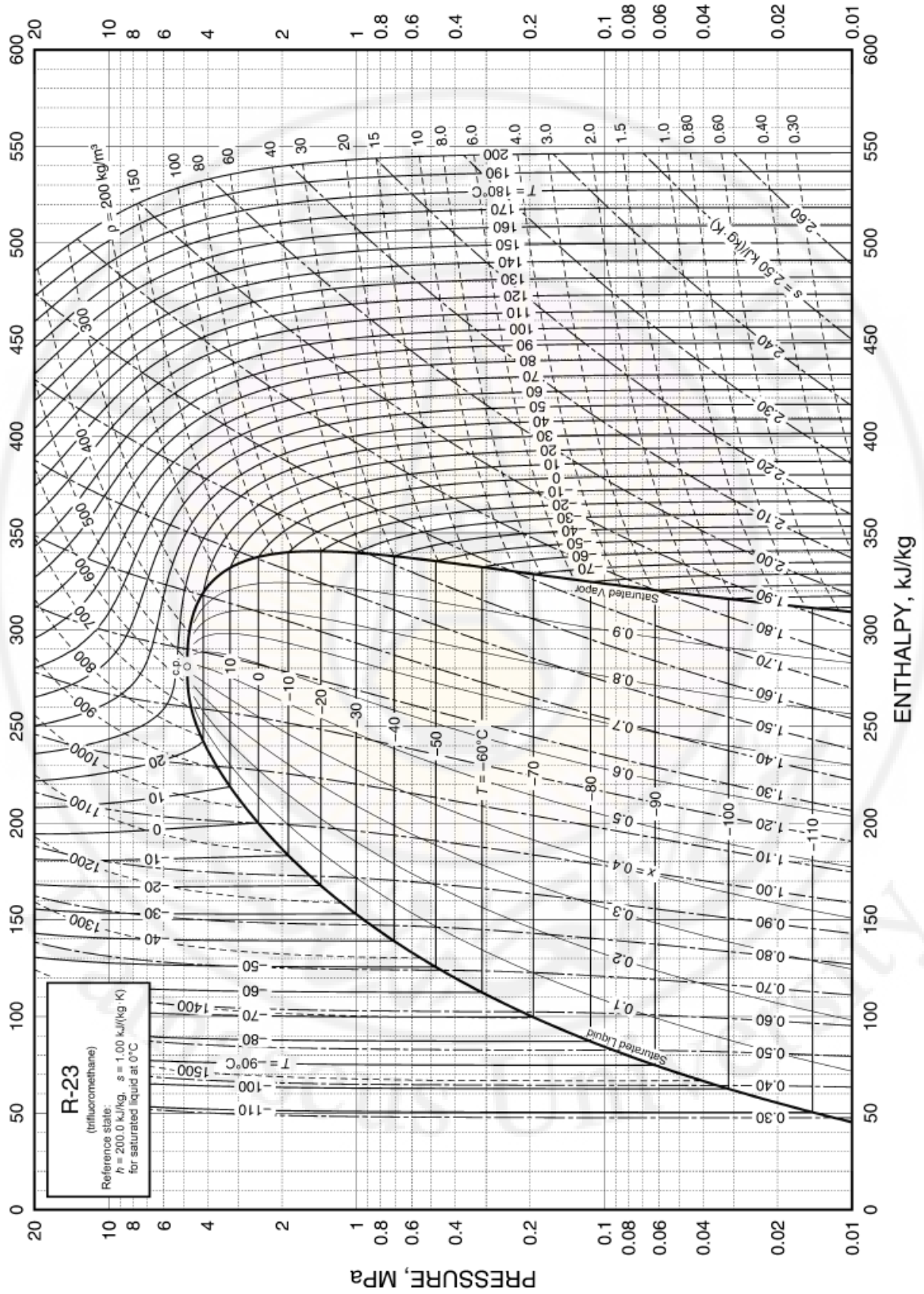
مخطط *i-lgp* للفریون R13



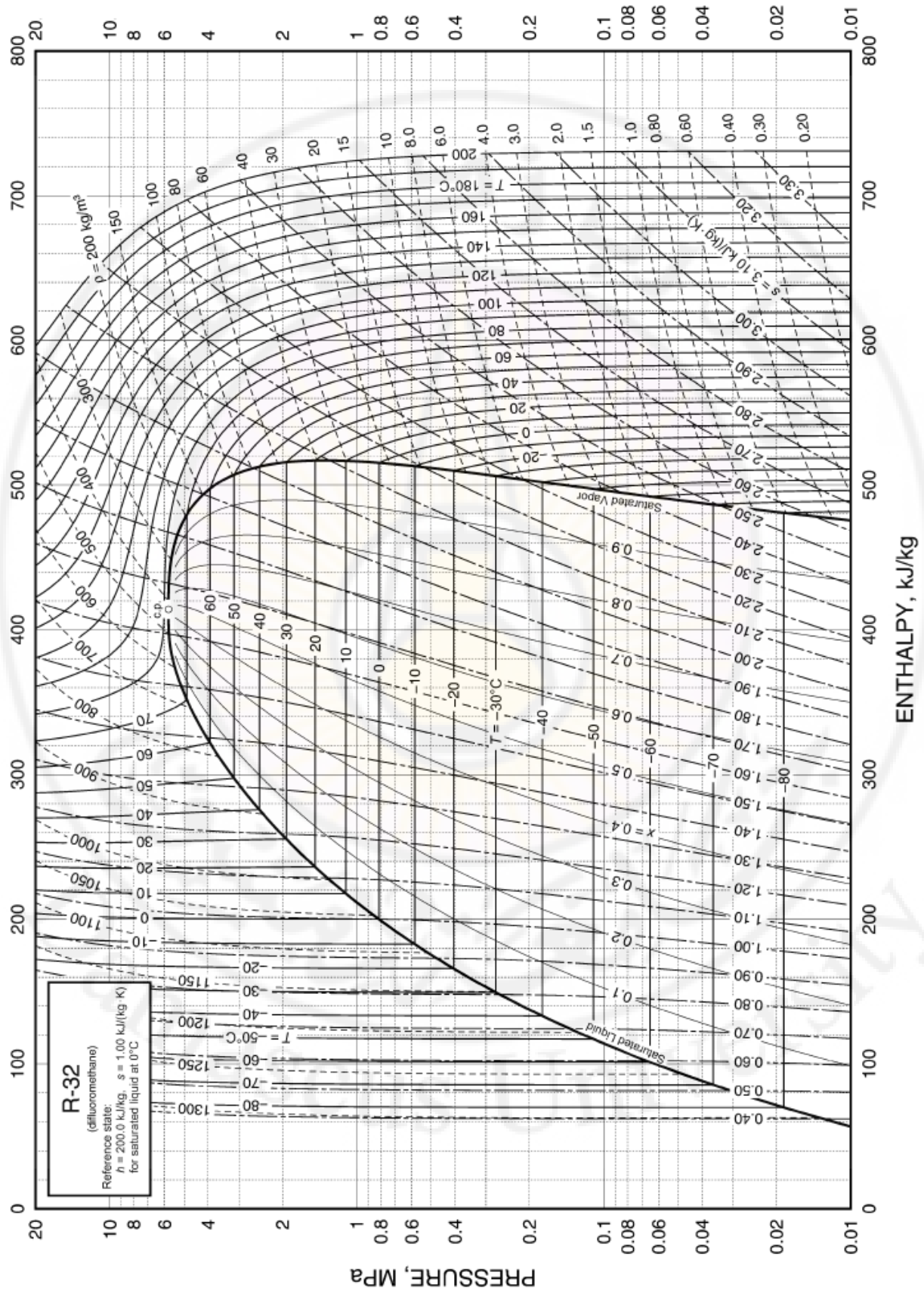
مخطط *i-lp* للفریون R22



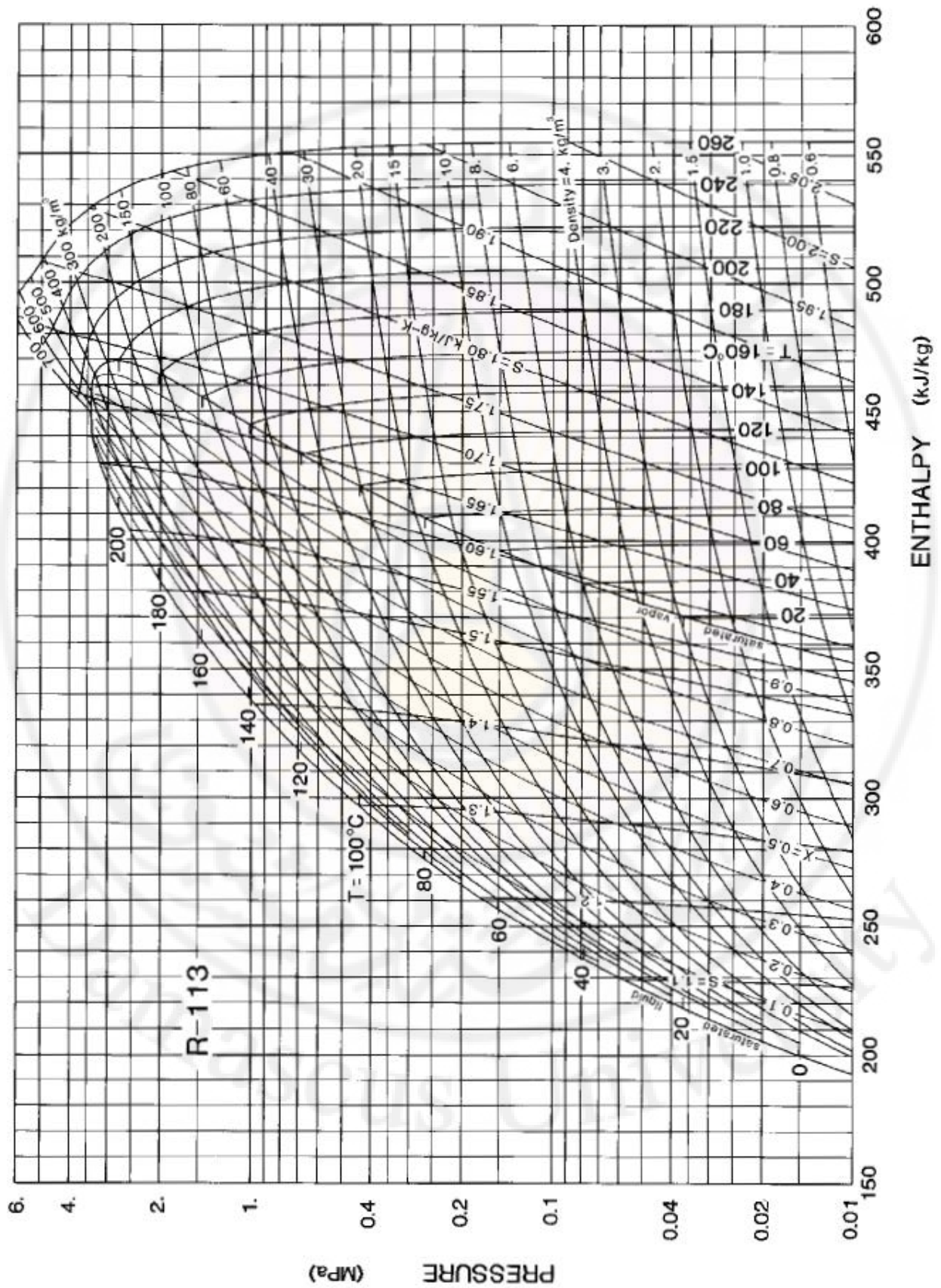
مخطط i -lgp للفرينون R23



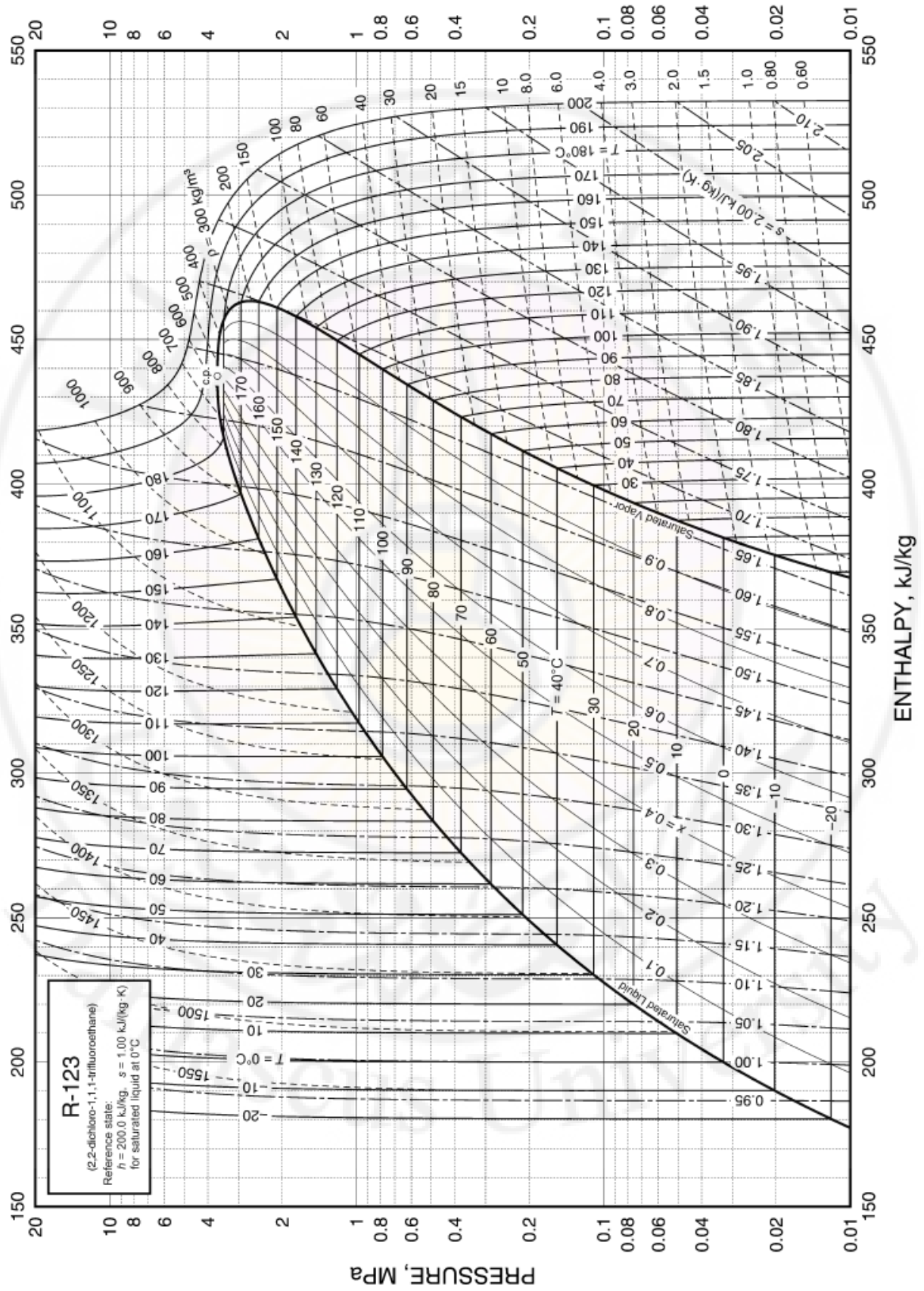
مخطط *i-lp* للفریون R32



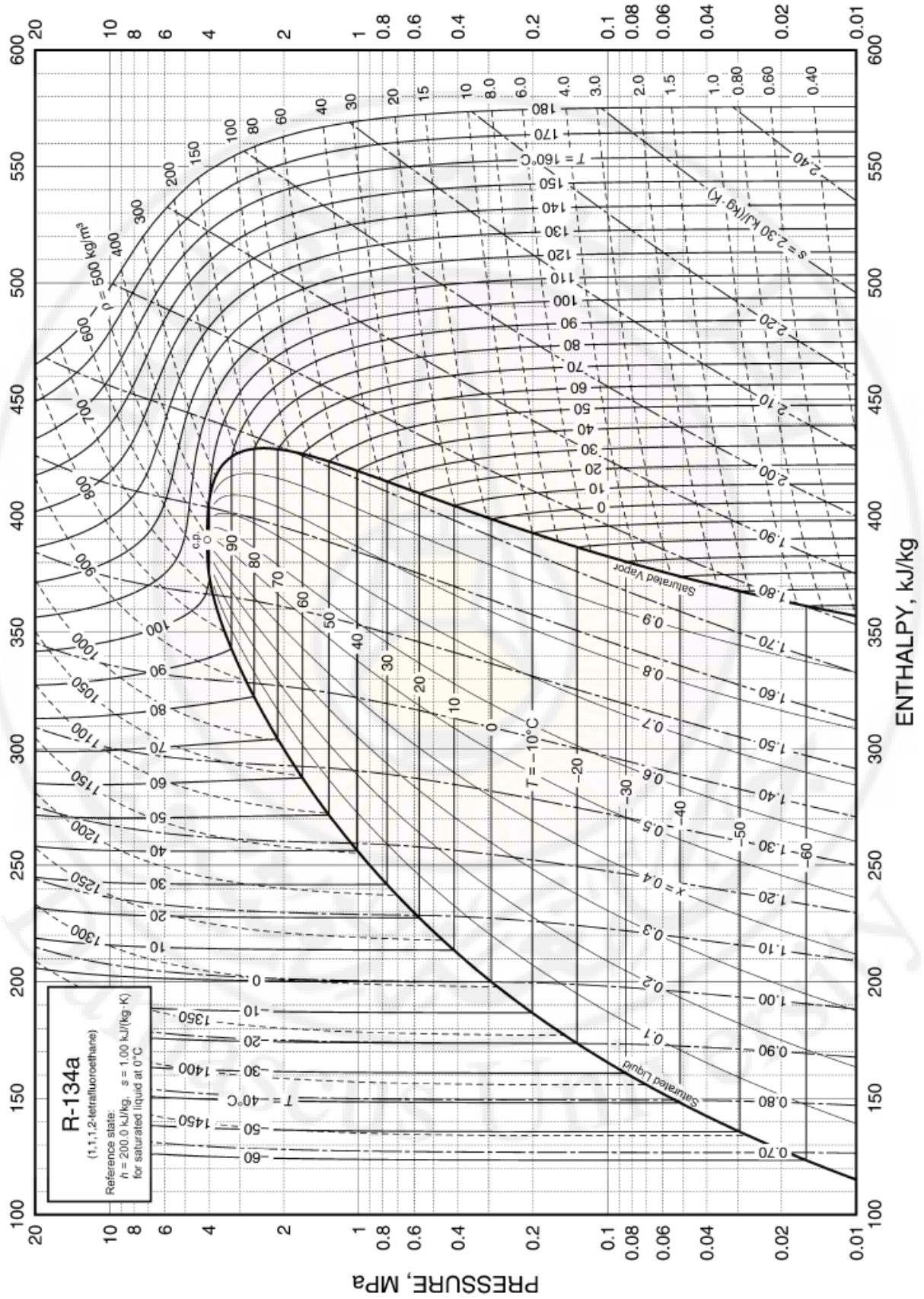
مخطط *i-lgp* للفریون R113



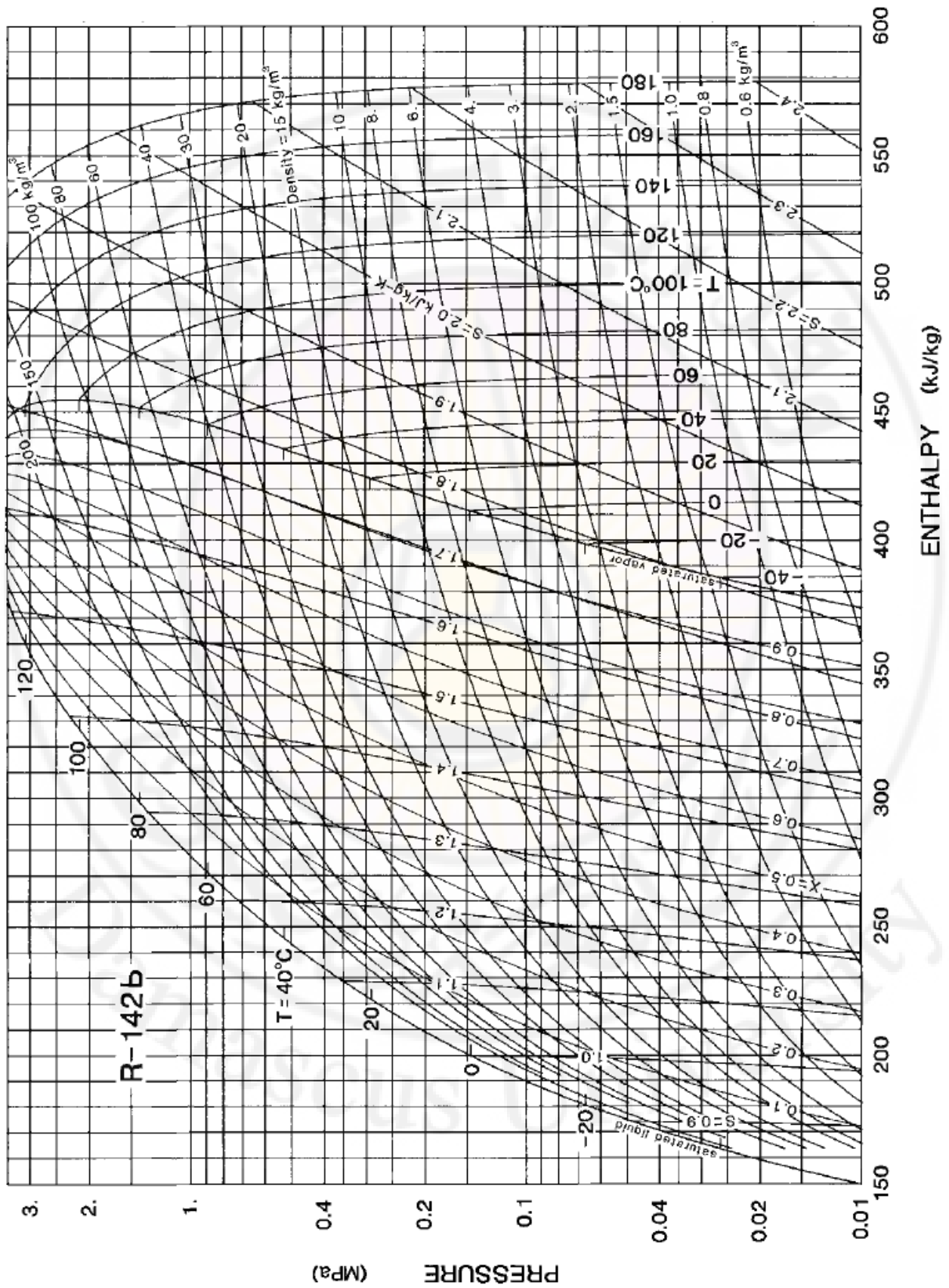
مخطط *i-lgp* للفریون R123



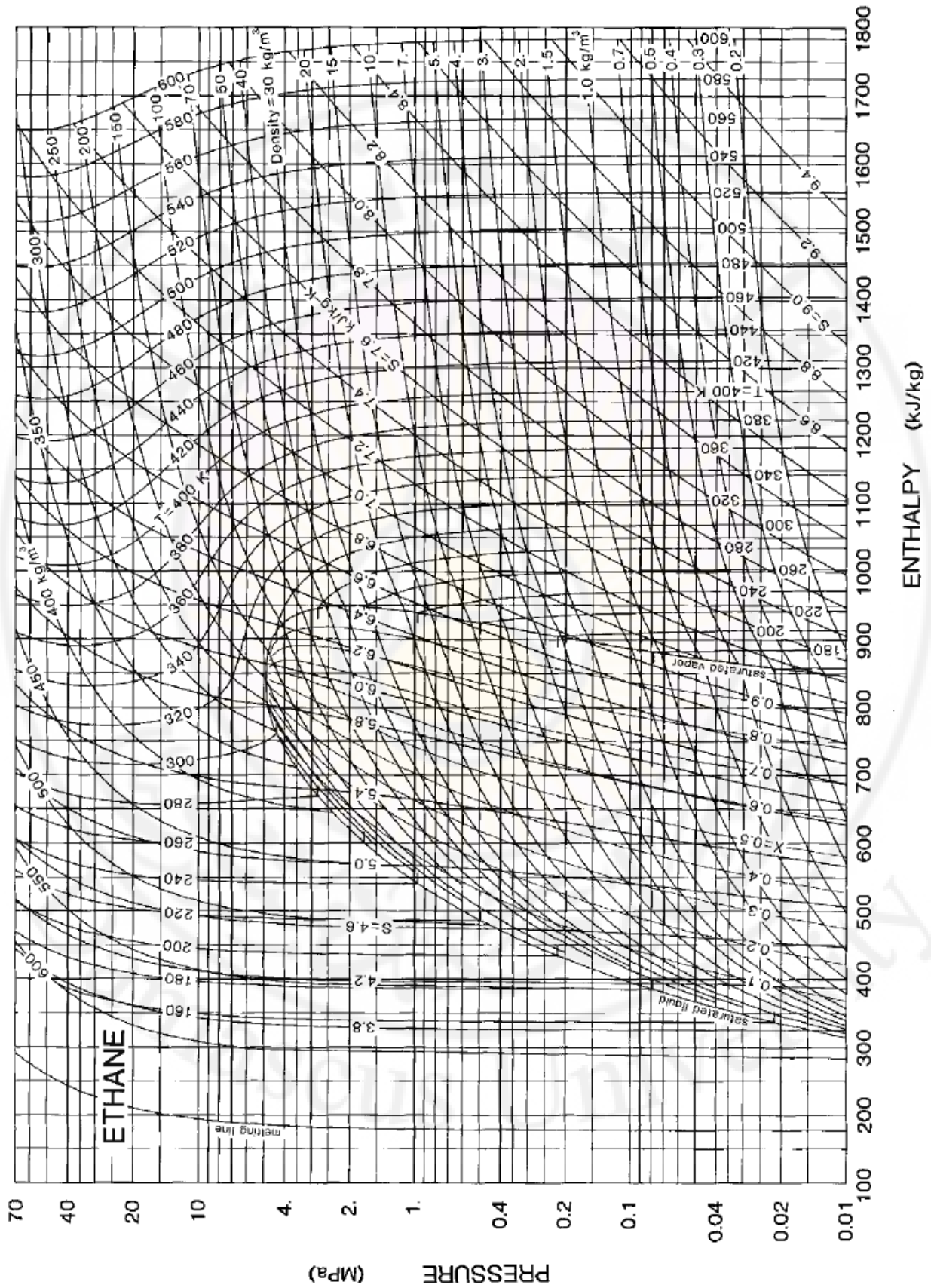
مخطط *i-lgp* للفریون R134a



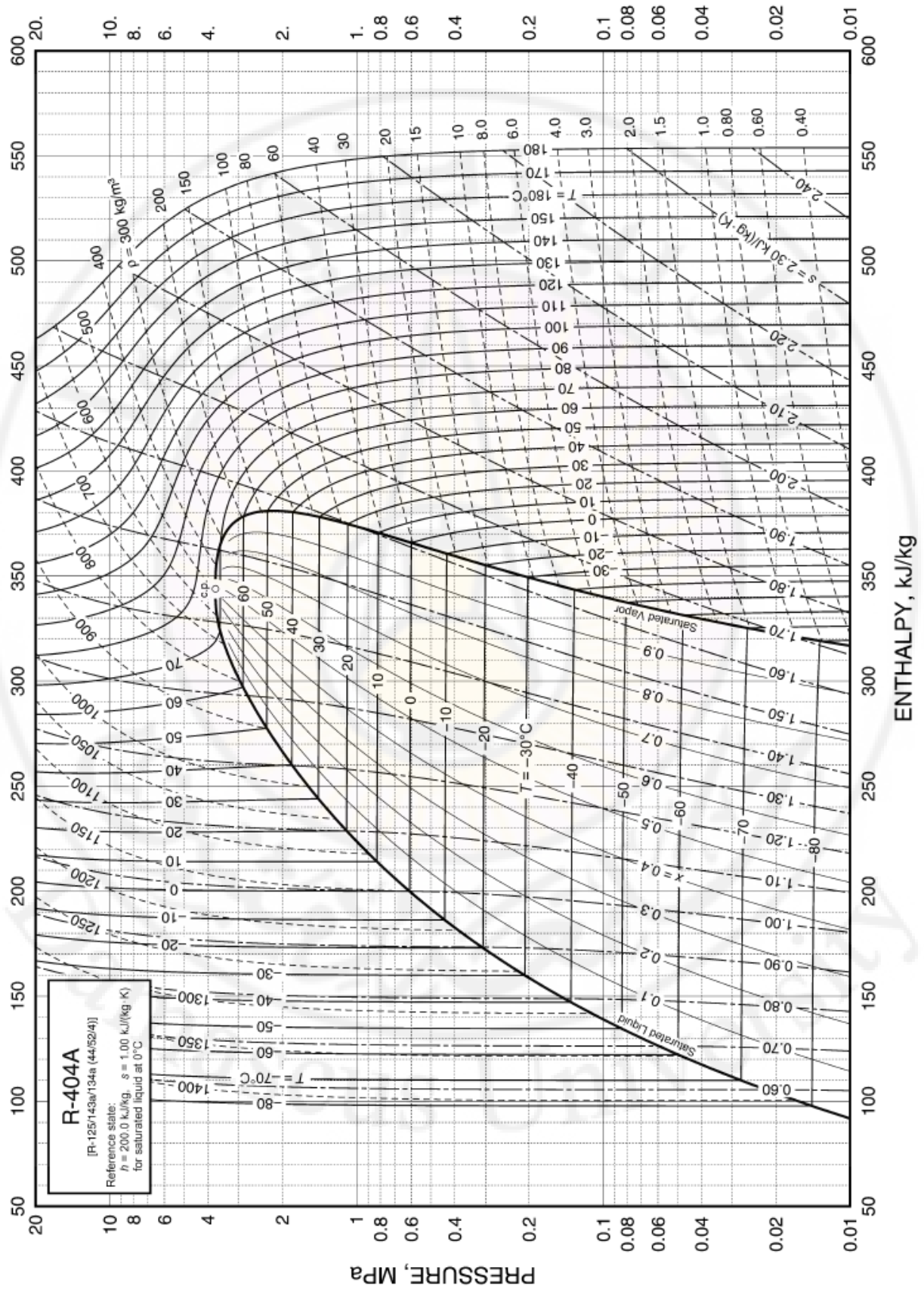
مخطط i - lq للفریون R142b



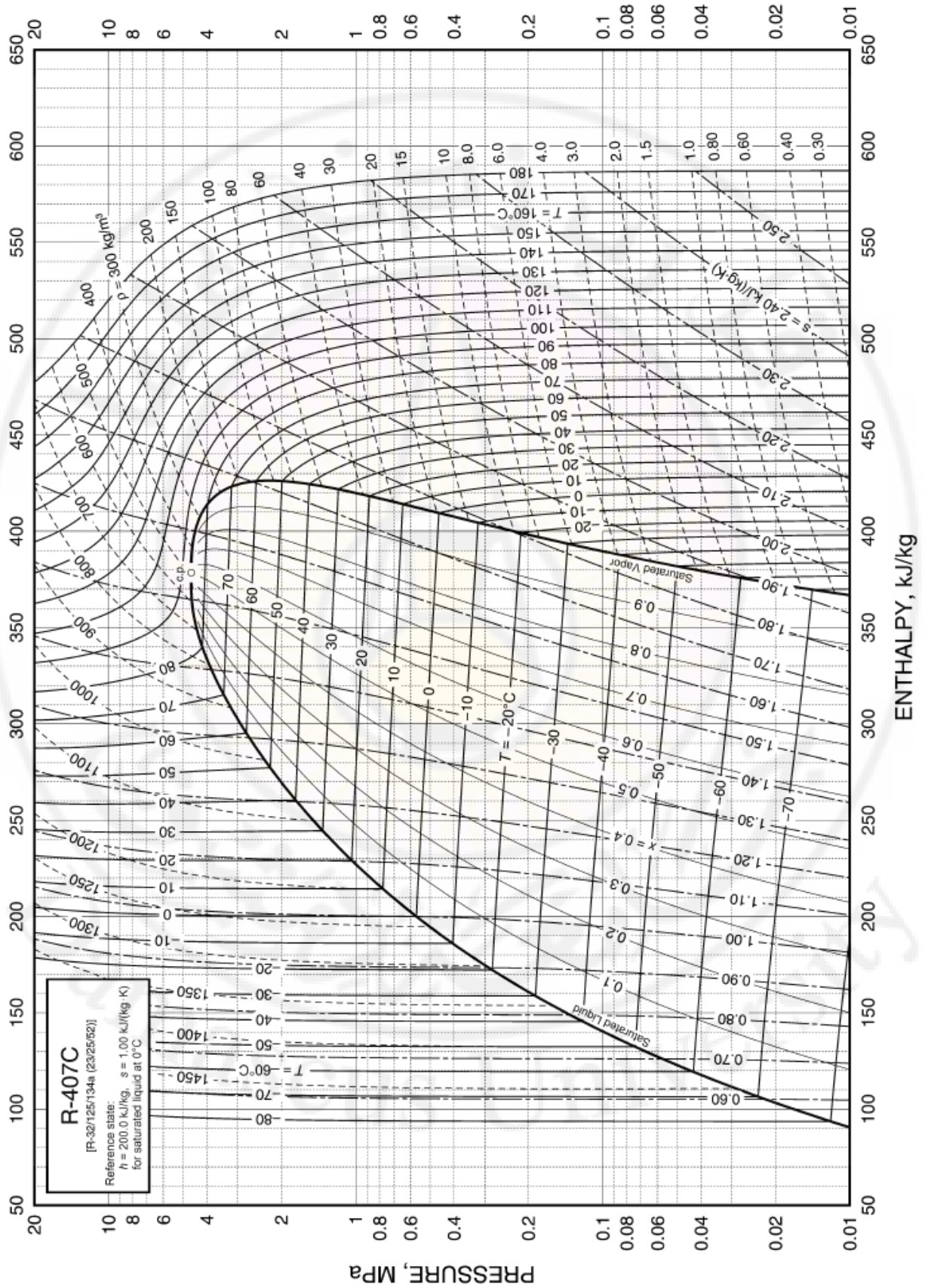
مخطط *i-lq* للإيثان R170



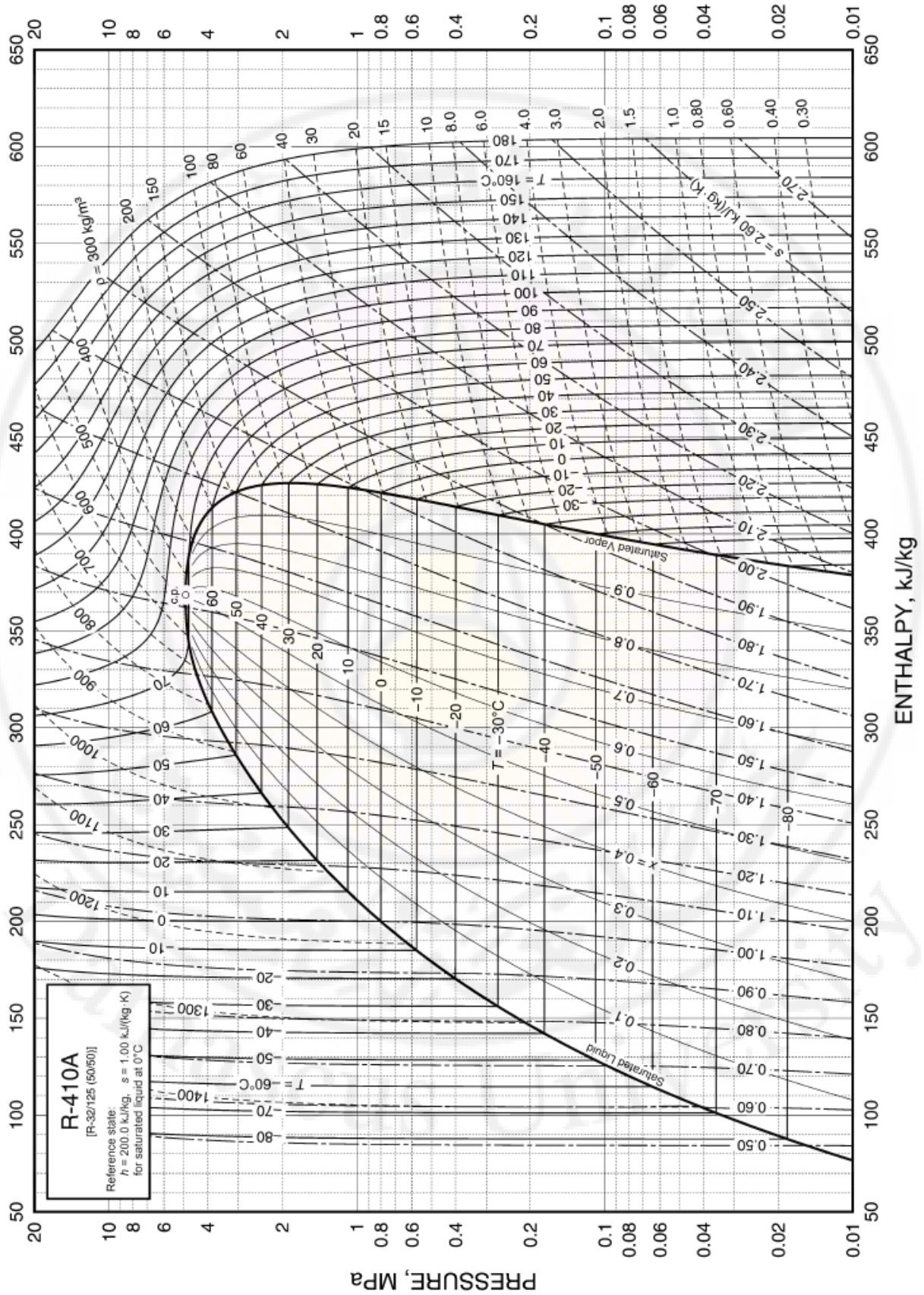
مخطط *i-lgp* للفریون R404A



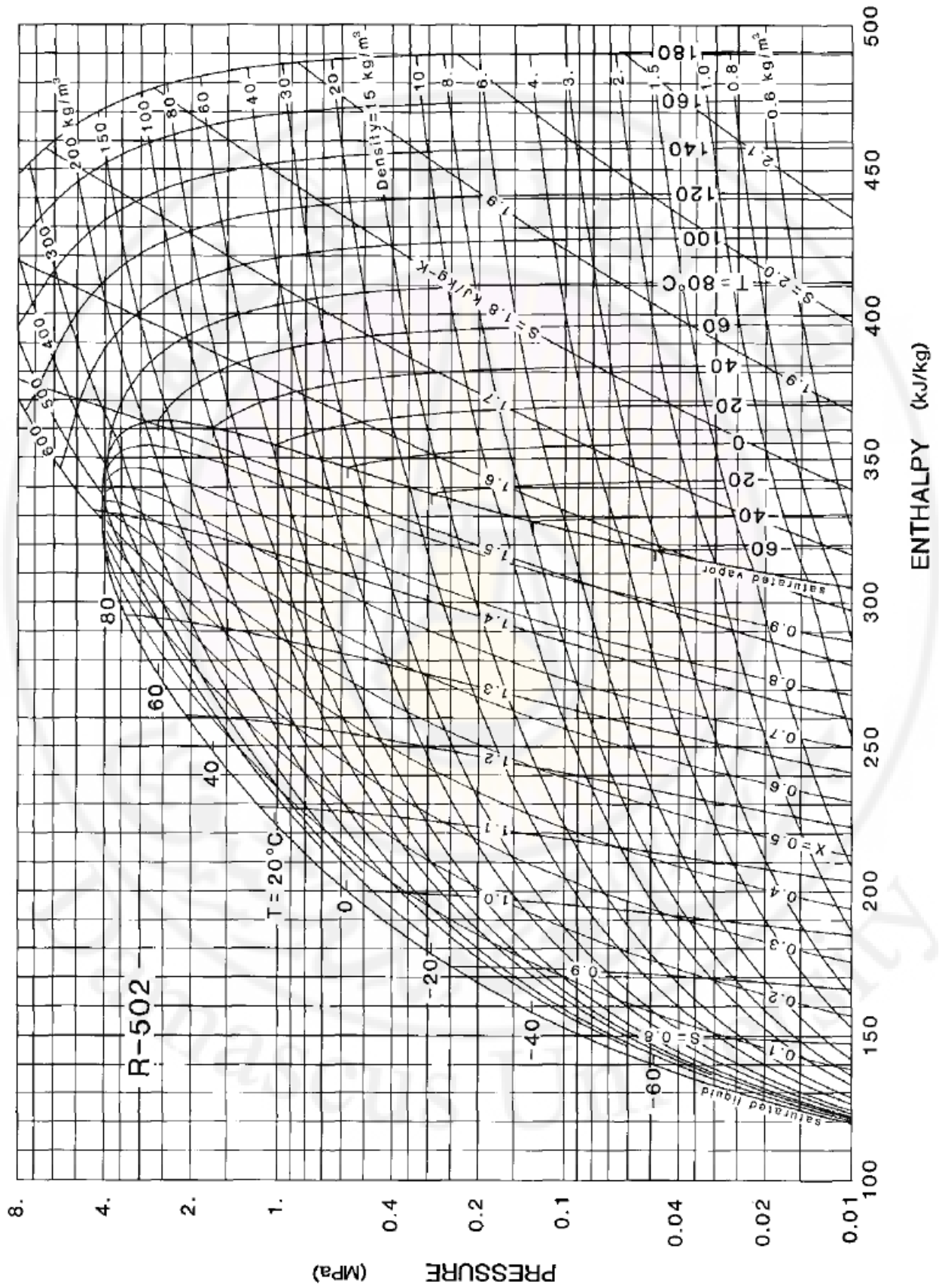
مخطط i - lq للفریون R407C



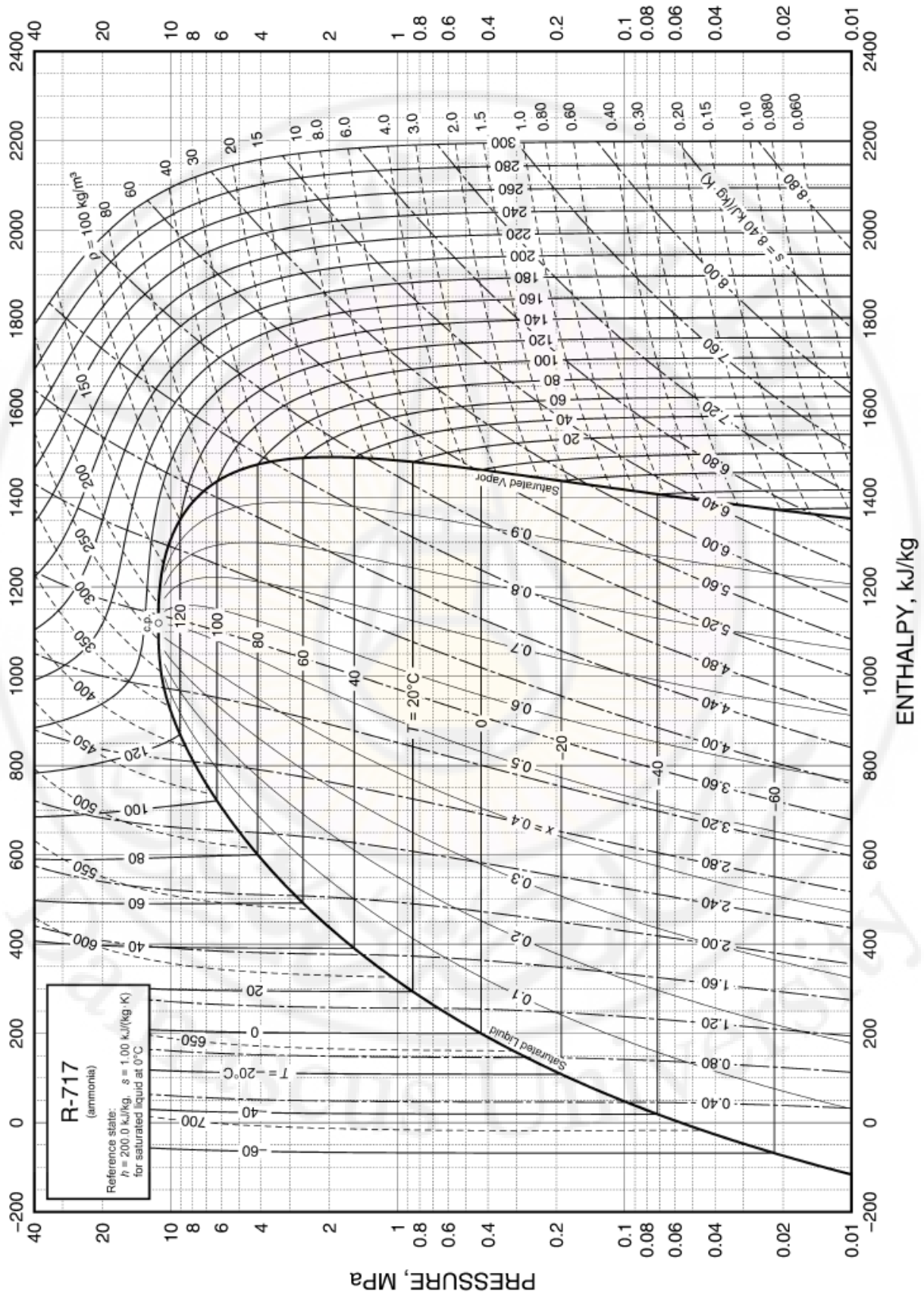
مخطط *i-lgp* للفریون R410A



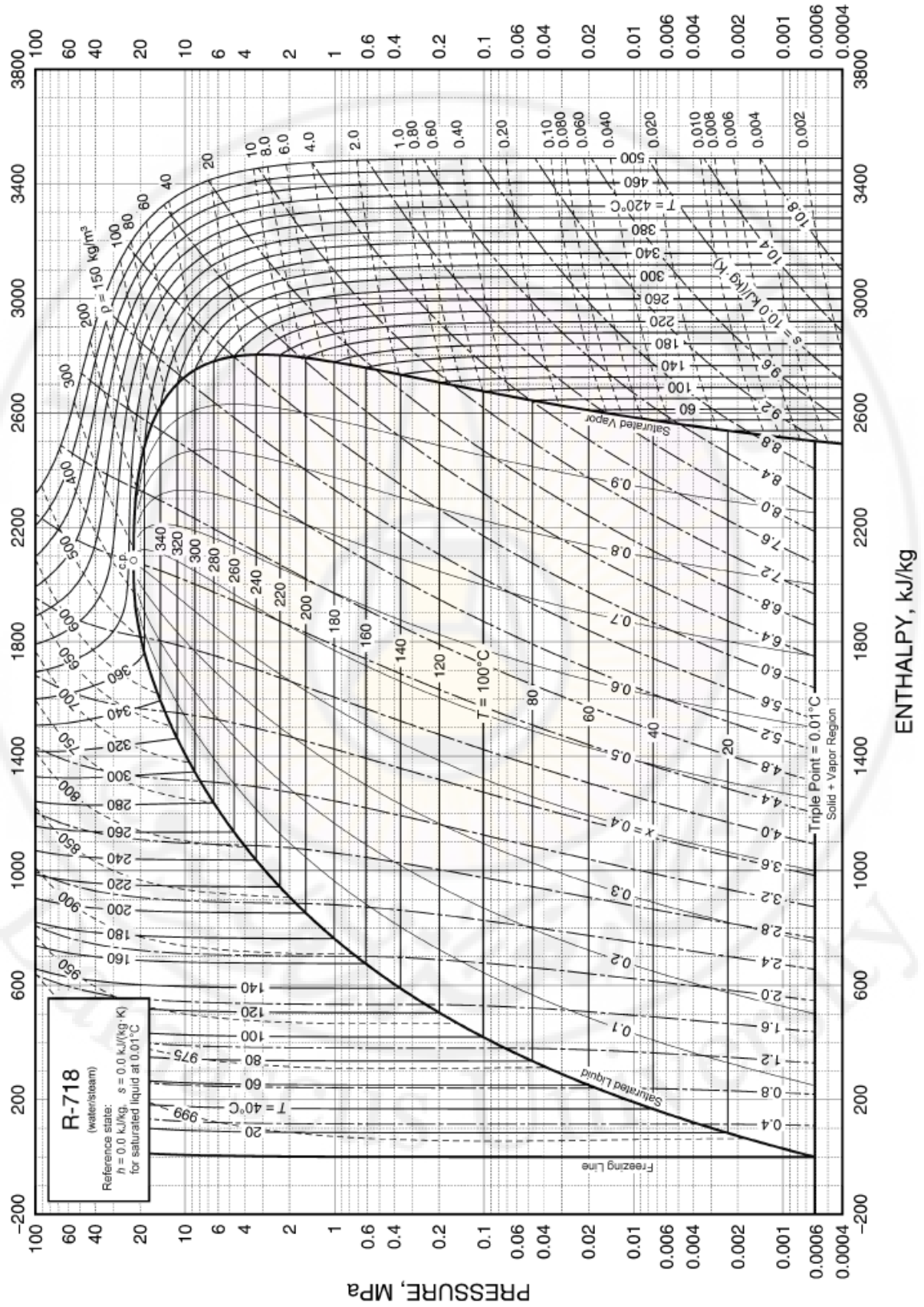
مخطط *i-lgp* للفریون R502



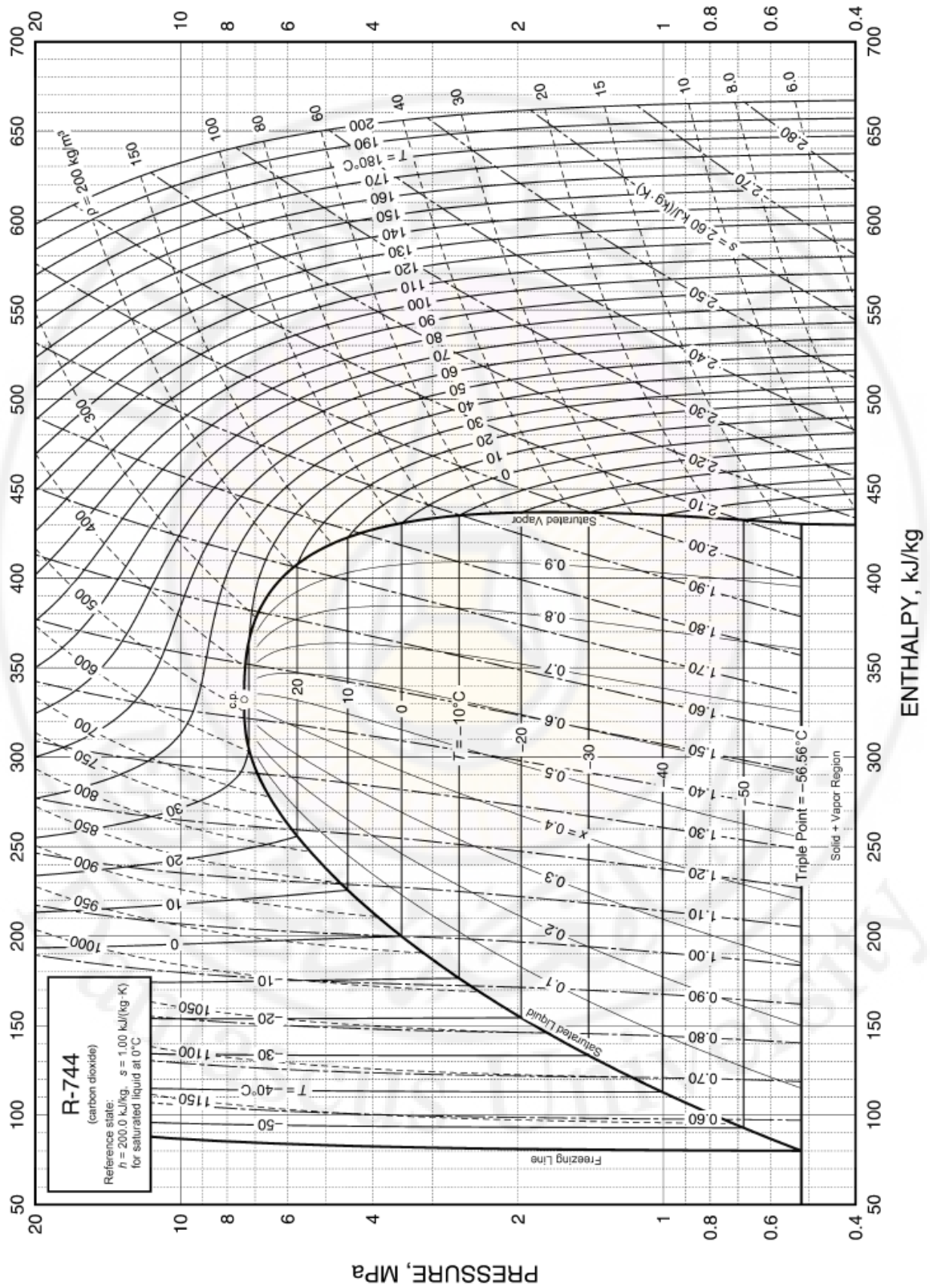
مخطط i - lq للأمونيا R717



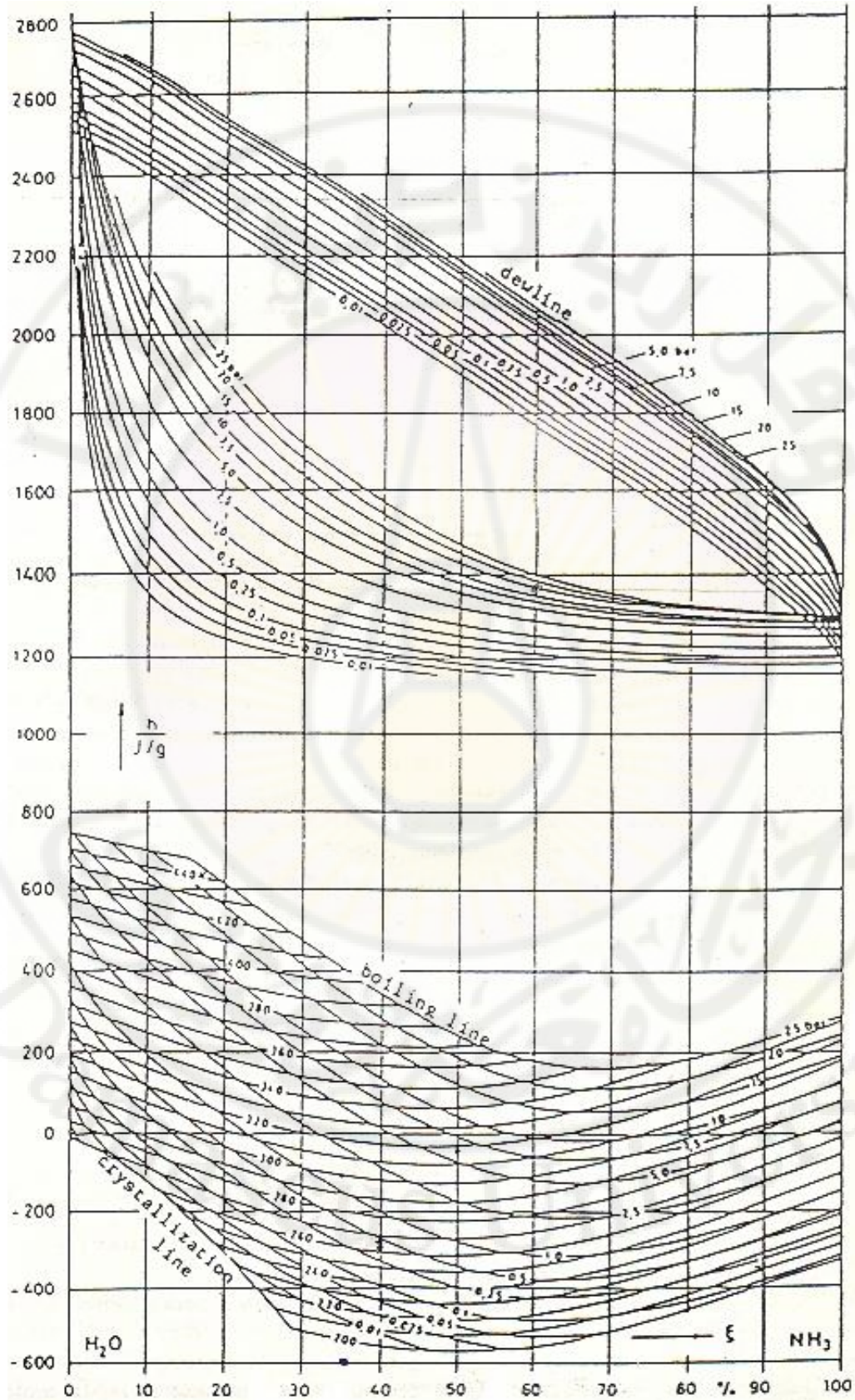
مخطط i - lq للماء R718



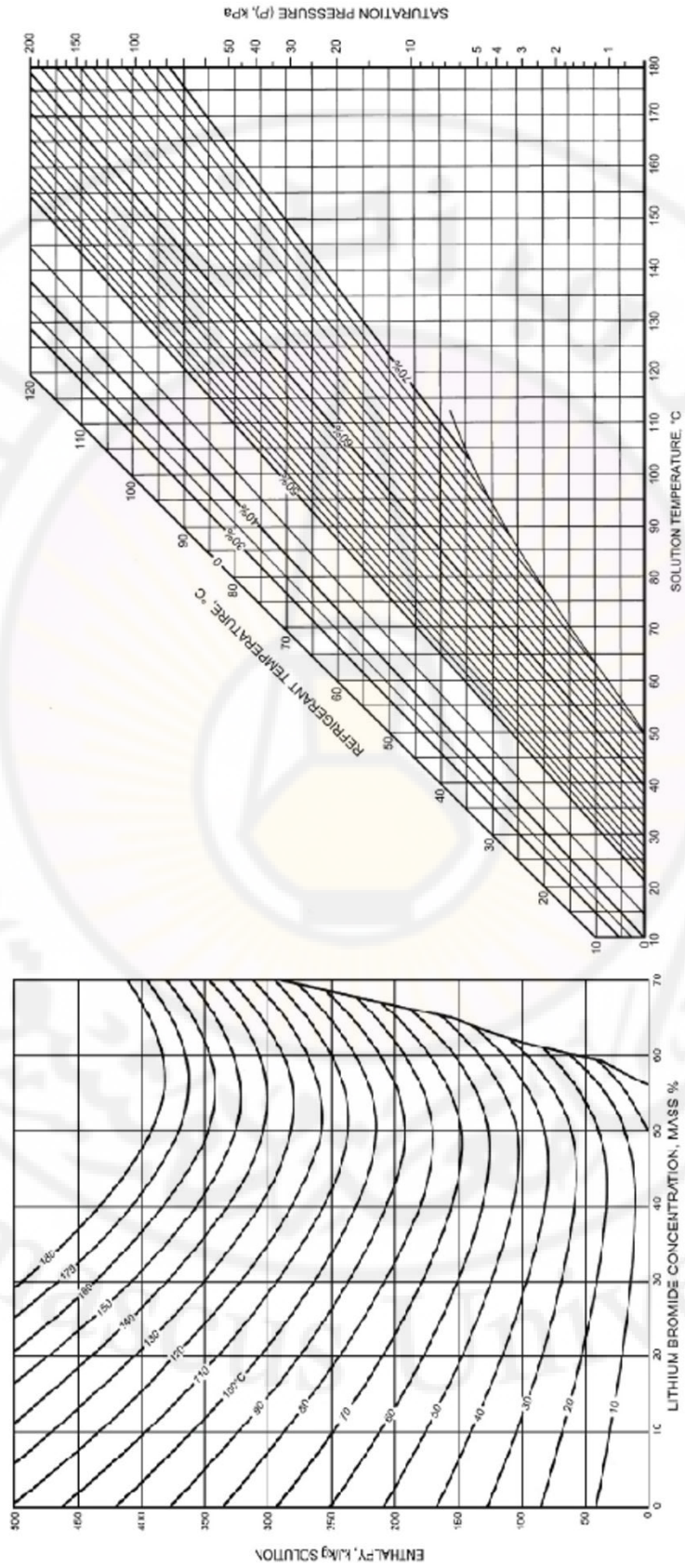
مخطط *i-lgp* لثاني أوكسيد الكربون R744



مخطط i - x لمحلول ماء - أمونيا



مخطط *i*-*x* لمحلول ماء - بروميد الليثيوم





جداول خاصة بمستودعات التبريد

- الجدول 44: درجات الحرارة والرطوبة النسبية في المحافظات والمدن السورية
- الجدول 45: شروط ومدة التخزين لبعض المنتجات الغذائية
- الجدول 46: قيم معدلات التخزين لبعض السلع
- الجدول 47: معدل التخزين لكل $1m^2$ من مساحة سطح الأرض لغرف برادات المؤسسات التجارية والغذائية
- الجدول 48: معامل الاستفادة من المساحة β
- الجدول 49: خواص بعض المواد العازلة الحرارية والهيدروليكية والتراكيب الإنشائية
- الجدول 50: قيم معامل انتقال الحرارة الكلي لكل من الجدران الخارجية والأغطية والسقوف
- الجدول 51: قيم معامل الانتقال الحراري الكلي للجدران الداخلية
- الجدول 52: قيم معامل الانتقال الحراري الكلي لأرضية غرف التبريد المسخنة
- الجدول 53: عوامل انتقال الحرارة السطحية والمقاومة الترموحرارية لمختلف السطوح في مستودعات التبريد
- الجدول 54: معاملات الانتقال الحراري للفواصل الجدارية ما بين الغرف التبريدية
- الجدول 55: فرق درجات الحرارة الشمسي حسب توجيه السطح
- الجدول 56: مدة المعالجة التبريدية لبعض المواد
- الجدول 57: الانتالبي النوعي للمنتجات عند درجة حرارة المنتج
- الجدول 58: السعة الحرارية النوعية للأغلفة والصناديق
- الجدول 59: قيم التدفق الحراري المتسرب عبر الأبواب عند ارتفاع الغرفة حتى 6m
- الجدول 60: كمية الحرارة المطروحة من الفواكه والخضار
- الجدول 61: السرعة الحسابية لجريان وسيط التبريد في أنابيب دائرة التبريد
- الجدول 62: أقطار الأنابيب الفولاذية المستخدمة مع الأمونيا
- الجدول 63: أقطار الأنابيب النحاسية المستخدمة مع الفريون
- حساب الأحمال التبريدية لمستودعات التبريد
- حساب واختيار شبكة أنابيب دائرة التبريد



الجدول 44 : درجات الحرارة والرطوبة النسبية في المحافظات والمدن السورية

الرقم	المدينة	درجة الحرارة التصميمية صيفاً [°C]	الرطوبة التصميمية صيفاً [%]	الرقم	المدينة	درجة الحرارة التصميمية صيفاً [°C]	الرطوبة التصميمية صيفاً [%]
1	دمشق	40	20	19	إزرع	38	20
2	حلب	41	20	20	القنيطرة	37	32
3	حمص	38	35	21	تدمر	43	20
4	حماة	40	25	22	التتف	42	20
5	الرستن	40	30	23	البوكمال	44	20
6	السلمية	40	30	24	دير الزور	43	16
7	إدلب	38	32	25	الرقعة	42	20
8	طرطوس	34	60	26	القامشلي	43	30
9	اللاذقية	34	60	27	الحسكة	44	18
10	صافيتا	35	40	28	جرابلس	41	20
11	مصياف	37	30	29	تل أبيض	42	25
12	صانفة	33	50	30	اثريا	40	30
13	كسب	33	30	31	النبك	35	25
14	القرداحة	35	50	32	سرغايا	35	25
15	حميميم	35	50	33	الزبداني	35	20
16	المسلمية	40	22	34	قطنا	39	25
17	درعا	39	20	35	خرابو	40	20
18	السويداء	37	25	36	التل	38	25

الجدول 45: شروط ومدة التخزين لبعض المنتجات الغذائية

مدة التخزين المسموحة	شروط التخزين		المنتج
	الرطوبة النسبية للهواء [%]	درجة الحرارة [°C]	
أسبوعين	87	-1	لحم بقر
أسبوعين	85	-2	لحم فيليه
أسبوعين	90	-2	لحم خنزير
أسبوعين	90	-1	لحم غنم
10 أيام	85	-2	طيور
3 - 4 أشهر	95	0	ملفوف
2 - 3 أسابيع	90	0	زهرة
4 - 5 أشهر	95	0	جزر
10 - 14 يوم	85	7	خيار
شهر	85	3	بطيخ أحمر - أصفر
6 - 8 أشهر	75	0	بصل
6 - 8 أشهر	85	10	بطاطا
8 أشهر	87	-1	تفاح
أسبوعين	85	0	مشمش
7 أشهر	90	0.5	إجاص
شهرين	85	0	عنب
شهرين	85	0	برتقال
4 أشهر	85	12	ليمون
3 أيام	85	0 - 2	سمن حيواني
6 أشهر	85 - 90	-3	جبنة قاسية
حتى 30 يوم	87	-1	بيض

الجدول 46: قيم معدلات التخزين لبعض السلع

معدل التخزين [ton / m³]	المواد الغذائية	
0.40	بأربع قطع	لحم بقر مجمد
0.35	بنصفين وبأربع قطع	
0.65	لحم مجمد معبأ في صناديق كرتون	
0.35	لحم طيور مجمد ومعبأ في صناديق خشبية	
0.70	سمن حيواني معبأ في صناديق خشبية	
0.54	زبدة وشحوم حيوانية مغلفة بشكل باكيتات	
0.32	بيض معبأ في صناديق خشبية	
0.60	معلبات	
0.35	فواكه مختلفة معبأة في صناديق خشبية	
0.48	أجبان معبأة في صناديق خشبية	
0.40	قريشة معبأة في براميل	
0.35	مفروط	سمك مجمد
0.40	مرصوص في كتل	
0.30	مواد مختلفة	

الجدول 47: معدل التخزين لكل 1m² من مساحة سطح الأرض لغرف برادات المؤسسات التجارية والغذائية

$q_f [kg/m^2]$		درجة حرارة الهواء في الغرف [°C]	الغرفة (حسب المواد المحفوظة)
في المؤسسات التجارية	في المؤسسات الغذائية		
125	150	-1 — +1	غرفة لحفظ اللحوم
220	300	-3 — -1	غرفة لحفظ السمك
170	300	+2 — +4	غرفة لحفظ الحليب والشحوم
150	150	+2 — +4	غرفة لحفظ المأكولات والمقبلات
100	100	+4 — +6	غرفة لحفظ الفواكه والخضار
100	100	+4 — +6	غرفة لحفظ المواد نصف الجاهزة
100	100	+6 — +8	غرفة لحفظ الحلويات والساكر

الجدول 48: معامل الاستفادة من المساحة β

يساوي معامل استخدام المساحة الإنشائية للغرف β نسبة المساحة السلعية إلى المساحة الإنشائية:

$$\beta = \frac{F_\ell}{F_b}$$

إن المعامل β يأخذ بالحسبان المساحات غير المفيدة.

إن قيم معامل استخدام المساحة الإنشائية مبينة أدناه وذلك تبعاً لمساحة الغرف $[m^2]$:

المساحة الإنشائية للغرف $[m^2]$	معامل استخدام المساحة β
حتى $100 m^2$	0.70 – 0.75
$100 - 400 m^2$	0.75 – 0.80
أكثر من $400 m^2$	0.80 – 0.85

ملاحظة:

عندما تكون مساحة الغرفة الإنشائية لا تزيد عن $100 m^2$ يكون معامل استخدام المساحة: 0.70 – 0.75.

الجدول 49: خواص بعض المواد العازلة الحرارية والهيدروليكية والتراكيب الإنشائية

المادة العازلة	الكثافة الحجمية $[kg/m^3]$	معامل الناقلية الحرارية $\lambda [W/mK]$	الوظيفة
المواد العازلة الحرارية			
ألواح عوازل حرارية من البلاستيك الرغوي أو البوليسترول	25 – 40	0.047	من أجل العوازل الحرارية للجدران الخارجية والداخلية والأعمدة وأغطية السقوف (الأسطح) والأنابيب والأجهزة والفواصل الجدارية
بلاستيك رغوي، بولي أوريتان قاس	100	0.041	السقوف والأنابيب والأجهزة والفواصل
بولي فينكلوريد	70 – 100	0.047	–
ألواح قاسية من الليف المعدني أو القطني الطبيعي المضغوط وعليه زيت الزفت	250 – 300	0.08 – 0.093	من أجل العوازل الحرارية للأنابيب والأجهزة وما بين الطوابق
ألواح من الفيروليت وألواح عوازل حرارية من البيتون الناعم	300 – 400	0.15 – 0.19	للجدران الخارجية والداخلية والفواصل والأعمدة وجدران الممرات
ألواح من البيرليت الهليومي	200 – 250	0.076 – 0.087	من أجل الأغطية والحواجز والأعمدة والقطع المضادة للحريق
غرافي كيرافريت (من البيتون)	200 – 500	0.17 – 0.23	من أجل المواد غير القابلة للاحتراق وأغطية البرادات وتجهيزات أرضية الغرف
الشلاك	500	0.2	من أجل تجهيزات أرضية الغرف
ستيروبور	–	0.04	من أجل الجدران الخارجية والفواصل الجدارية والأغطية (السقوف) والأرض

أحياناً			
		200 – 250	الفلين المعدني
		160 – 300	الفلين الطبيعي
		250 – 300	زجاج رغوي
المواد العازلة الهيدروليكية (ضد الرطوبة)			
	0.75 – 0.87	1800 – 2000	إسفلت
	0.18	1050	زيت زفت بترولي
	0.29 – 0.35	700 – 900	بورلين
	0.29 – 0.35	700 – 900	هيدرو إيزول
	0.14 – 0.18	600 – 800	روبيلرويد

الجدول 50: قيم معامل انتقال الحرارة الكلي لكل من الجدران الخارجية والأغطية والسقوف

يبين الجدول التالي قيم معامل انتقال الحرارة الكلي للبرادات والتي ترتبط بموقع البراد في المنطقة المحددة وبدرجة حرارة الهواء داخل الغرفة.

معامل الانتقال الحراري K_o للجدران الخارجية والأغطية والسقوف عند درجة الحرارة الداخلية للغرفة المبردة $[W / m^2 K]$							درجة الحرارة الوسطى السنوية للهواء الخارجي في منطقة البناء $[^{\circ}C]$
+12°C	+4°C	0°C	-4°C	-10 — -15°C	-20 — -25°C	-30 — -40°C	
الجدران الخارجية							
0.7	0.58	0.52	0.47	0.33	0.26	0.21	صفر أو ما دون
0.640	0.44	0.4	0.35	0.28	0.23	0.2	+1 — +8°C
0.52	0.35	0.3	0.28	0.23	0.21	0.19	تسعة وما فوق
الأغطية والأسقف							
0.52	0.47	0.44	0.4	0.3	0.24	0.2	صفر أو ما دون
0.52	0.42	0.37	0.33	0.27	0.22	0.19	+1 — +8°C
0.47	0.33	0.29	0.26	0.23	0.2	0.17	تسعة وما فوق

ملاحظة:

من أجل العوازل الحرارية بين الطوابق، يؤخذ معامل الانتقال الحراري لها أكبر بـ 10% من معامل الانتقال الحراري للأغطية.

الجدول 51: قيم معامل الانتقال الحراري الكلي للجدران الداخلية

يبين الجدول التالي قيم معامل انتقال الحرارة الكلي K_o للجدران الداخلية الفاصلة ما بين غرف التبريد وكل من الكوريدورات والمشارف ومكان المصاعد ومكان الشحن والتخزين المبرد وأماكن أخرى اعتماداً على درجة حرارة الهواء في الغرفة المبردة.

درجة حرارة الهواء في الغرفة المبردة $[^{\circ}C]$	-30	-20	-10	-4	+4	+12
معامل انتقال الحرارة الكلي K_o ، $[W/m^2K]$	0.27	0.28	0.33	0.41	0.52	0.64

الجدول 52: قيم معامل الانتقال الحراري الكلي لأرضية غرف التبريد المسخنة

للأرضية المسخنة يؤخذ معامل الانتقال الحراري بالاعتماد على درجة حرارة الهواء للغرفة التبريدية من الجدول التالي:

درجة حرارة هواء الغرفة $[^{\circ}C]$	معامل الانتقال الحراري K_o ، $[W/m^2K]$
12	0
-4 — +4	0.41
-10	0.29
-30 — -20	0.21

ملاحظة ١:

عند توضع أرض غرفة التبريد على التربة مباشرة، فإنه لا توجد من الجهة الخارجية للأرضية حركة للوسط، عندها ينعدم انتقال الحرارة بالحمل، وبالتالي المقاومة الحرارية لانتقال الحرارة من التربة إلى الأرضية تساوي الصفر.

$$\left(\frac{1}{\alpha_o} = 0 \right)$$

ملاحظة ٢:

قيم معاملات انتقال الحرارة الكلي K_o لغرف التبريد بدرجات حرارة غير ظاهرة في الجداول 51، 52، 53 يتم بالتقريب الخطي.

الجدول 53: عوامل انتقال الحرارة السطحية والمقاومة الترموحرارية لمختلف السطوح في مستودعات التبريد

المقاومة الترموحرارية $\left[m^2 K / W \right] , \frac{1}{\alpha}$	معامل انتقال الحرارة السطحي α , $[W / m^2 K]$	سطوح الغرف
0.043	23	السطوح الخارجية للجدران والأغطية والسقف α_o
0.125	8	السطوح الداخلية للغرف بدون توزيع الجدان α_i
0.143 – 0.167	6 – 7	قسري للهواء (باستخدام بطاريات التبريد) أراضي الغرف والأسقف
0.111	9	السطوح الداخلية للغرف ذات التوزيع الضعيف للهواء (حفظ المواد المبردة)
0.091	11	السطوح الداخلية للغرف ذات التوزيع القسري للهواء (غرف التبريد والتجميد)

الجدول 54: معاملات الانتقال الحراري للفواصل الجدارية ما بين الغرف التبريدية

معامل الانتقال الحراري $[W / m^2 K]$	طبيعة الفاصل الجداري
0.23	ما بين غرف التجميد والتبريد
0.26	ما بين غرف التجميد وحفظ المواد المبردة
0.47	ما بين غرف التجميد وحفظ المواد المتلجة
0.28	ما بين غرف حفظ المواد المبردة وغرف حفظ المواد المتلجة
0.33	ما بين غرف التبريد وحفظ المواد المتلجة
0.52	ما بين غرف التبريد وحفظ المواد المبردة
0.58	ما بين الغرف ذات نفس درجات الحرارة

الجدول 55: فرق درجات الحرارة الشمسي حسب توجيه السطح (°C)

توجيه الجدار										السطح	
شمالي	شمالي غربي	شمالي شرقي	غربي	شرقي	جنوبي غربي	جنوبي شرقي	جنوبي				
خط العرض											
من 40 حتى 60							60	50	40		
0	5.6	5.1	11.7	9.8	10	8.8	9.8	8	5.9	جدار بيتوني	
0	6.3	5.8	13.2	11	11.3	9.9	11	9.1	6.6	جدار آجري	
0	3.5	3.2	7.2	6	6.1	5.4	6	4.9	3.6	جدار مبيض بالكلس أو بطينة ملونة	
0	2.2	2	4.7	3.9	4	3.5	3.9	3.2	2.3	جدار ملبس بسيراميك أبيض	
18.5										سطح مع ورق قطراني أو إسفلت	غطاء مسطح (السطح)
17.5										سطح مع روبيرويد داكن اللون	
14.9										سطح مع روبيرويد فاتح اللون	
16.5										سطح مع ردم ترابي	

الجدول 56: مدة المعالجة التبريدية لبعض المواد

المادة (السلعة)	درجة الحرارة الداخلية [°C]	سرعة حركة المواد [m/s]	مدة المعالجة التبريدية [h]	الرطوبة النسبية [%]
لحم بقر (غنم)	تبريد حتى -5 — -4	1 — 2	12 — 16	85 — 90
	تجميد حتى -30	3 — 5	24	85 — 90
	تخزين حتى -18 - بدرجة دخول +8	1 — 2	12 — 16	90 — 95
لحم طيور	تبريد -15 - بدرجة دخول +25	1 — 2	12 — 16	85 — 90
سمك	تخزين وحفظ -2	1 — 2	20	92
بيض (بكرتون)	حفظ -1.5 — -0.5	1 — 2	20	90
بيض في صناديق خشبية	حفظ -2.5	1 — 2	20	90
حليب ومشتقاته	حفظ وتبريد 0	1 — 2	20	90
زبدة	حفظ وتبريد -15	1 — 2	20	90
تفاح وإجاص وعنب	حفظ وتبريد 0	1 — 3	24	90
الحمضيات	حفظ وتبريد 2 — 6	1 — 2	20	90
بطاطا	حفظ +4	1 — 2	24	80
بصل وثوم	تخزين -3 — -1			75
اللحوم المبردة والمقبلات والحلويات	+1 — +3	1 — 2	24	80
بازنجان وجزر وملفوف	حفظ +1 — -1	1 — 2	24	80
الخضار نصف المصنعة	حفظ +2	0.5 — 1	20	80 — 85
فواكه وخضار في البرادات التجارية	حفظ +4 — +6	0.5 — 1	20	80 — 85
البوظة والمنتجات المتلجة	-15	2 — 3	24	80 — 90

الجدول 57: الانتالبي النوعي للمنتجات [kJ/kg] عند درجة حرارة المنتج

درجة الحرارة [°C]	لحم بقر	لحم خروف معتدل	لحم خنزير	أحشاء الخروف	لحم بقر بدون عظام	سمك غير مدهن	سمك مدهن	فيليه سمك	بيض بقشره	مسحوق البيض	زبدة	سمن حيواني	عنب، مشمش، كرز	فواكه مختلفة
-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-18	4.6	4.6	4.6	5	5	5	5	5.4	4.1	4.6	4.1	2.5	7.5	6.7
-15	12.9	12.5	12.4	13.8	13.3	14.2	14.2	14.6	10.4	11.3	10.8	6.2	20.5	17.1
-12	22.1	21.7	21.3	24.2	23.4	28.6	24.2	25.5	17.5	18.4	17.5	10.4	36.4	29.7
-10	30.1	29.5	28.8	33	31.3	33.4	32.6	34.7	22.6	24.2	22.6	13.8	49.8	39.3
-8	39.3	38.5	37.25	43.1	41	43.5	42.2	45.6	28.4	30.9	27.6	17.1	66.5	51
-5	57.3	55.6	54.4	62.7	59.4	64	61.5	66.9	41.1	44.7	36.8	22.6	115.9	82.8
-3	83.3	77	73.6	87.9	82.8	86.1	85.3	93.7	227.7	63.2	15.2	26.7	202.6	138.9
-1	184.1	179.5	169.9	204.2	225.5	212.2	199.6	224.7	234	141.9	83.7	34.7	232.7	267.9
0	232.3	223.9	211.8	261.2	242.4	265.8	249	281.7	237.3	264.1	92.9	37.2	236	271.6
1	235.6	227.3	214.7	264.5	246.1	269.5	252.8	285.4	240.2	267.4	93.3	39.7	239.8	275.4
3	241.9	233.5	221	271.6	252.8	276.6	259.5	292.6	246.5	274.1	102.1	45.2	246.9	282.9
5	248.2	239.8	226.8	278.7	259.5	283.3	266.2	300.1	252.8	281.3	108.1	51.4	254	290.5
7	254.9	246.1	253.1	285.4	266.2	290.5	272.9	307.2	259.8	288	115.1	58.1	261.2	298
10	264.6	255.3	241.9	295.9	275.8	300.9	283.3	318.1	268.7	298.4	126.4	69	271.6	309.3
12	270.8	261.6	248.2	303	282.8	308.1	290.5	325.6	275	305.1	133.9	77	278.7	316.8
15	280.4	271.2	257	313.5	292.6	318.5	300.5	336.5	284.6	315.6	146.9	90	289.6	328.1
17	287.1	277.5	263.3	320.6	299.3	325.6	307.2	343.6	290.9	322.3	155.7	99.2	296.7	335.7
20	296.7	285.9	272.5	331.1	305.5	336.1	317.3	354.9	300.1	332.7	171.6	114.6	307.2	347
25	314.6	302.6	287.9	348.6	325.6	353.7	334.4	372.9	316	349.9	-	-	325.2	365.8
30	329	318.6	313.9	365.8	342.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	354.55	344	339.9	388	367.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-

الجدول 58: السعة الحرارية النوعية للأغلفة والصناديق

مادة الغلاف	$c_t [J / kgK]$
خشب	2500
كرتون	1460
معدن رقيق	460
زجاج، بلاستيك	835

الجدول 59: قيم التدفق الحراري المتسرب عبر الأبواب $[W/m^2]$ عند ارتفاع الغرفة حتى 6 m

المساحة			غرف التبريد
أكثر من $150m^2$	$50 - 150m^2$	حتى $50m^2$	
10	12	23	غرف التبريد وغرف حفظ المواد المبردة وبالأخص السمك المبرد
12	15	29	غرف حفظ المنتوجات المبردة
12	15	32	غرف التجميد
8	12	22	غرف حفظ المواد المتلجة
20	38	78	غرف إرسال واستقبال المواد

ملاحظة:

عند ارتفاع يزيد عن 6 m فإن قيمة الضياع الناتج عن فتح الأبواب نأخذه بصورة تناسبية مع الارتفاع الجديد.

الجدول 60: كمية الحرارة المطروحة من الفواكه والخضار [W/ton]

درجة الحرارة [°C]					الفواكه والخضار
20	15	5	2	0	
199	154	50	27	18	مشمش
58	46	20	13	9	ليمون
69	56	19	13	11	برتقال
181	131	41	22	19	دراق
278	161	46	27	20	أجاص مبكر
218	126	41	22	11	أجاص متأخر
121	92	31	21	19	تفاح مبكر
73	58	21	14	11	تفاح متأخر
232	184	65	35	21	خوخ
78	49	24	17	9	عنب
58	–	26	21	20	بصل
195	121	51	36	33	ملفوف
44	36	24	22	20	بطاطا
135	87	38	34	28	جزر
175	121	34	24	20	خيار
340	188	51	44	38	خس
900	524	199	119	83	سبانخ

الجدول 61: السرعة الحسابية لجريان وسيط التبريد في أنابيب دائرة التبريد

اسم الخط	وسيط التبريد	السرعة الحسابية $[m/s]$
خط السحب إلى الضاغط	R12 – R22	8 – 12
	أمونيا	10 – 20
خط الطرد	R12 – R22	10 – 18
	أمونيا	12 – 25
خط السائل	R12 – R22	1 – 1.25
	أمونيا	
خط التصريف من المكثف إلى الخزان	R12 – R22	0.5 – 0.7
	أمونيا	

ملاحظة ١:

القيم الدنيا تتسبب للأنابيب ذات قطر داخلي أصغر من 50mm، أما القيم الكبرى فتتسبب للأنابيب ذات الأقطار الأكبر من 50mm.

ملاحظة ٢:

من أجل الأنابيب التي أقطارها أكبر من 100mm، فإن القيم الجدولية يمكن زيادتها بحدود 25 – 30%.

الجدول 62: أقطار الأنابيب الفولاذية المستخدمة مع الأيونيا

الممر الشرطي للأنبوب الفولاذي [mm]	القطر الخارجي [mm]	القطر الداخلي [mm]	سمكة الأنبوب [mm]	مساحة المقطع العرضي [m ²]	كتلة المتر الواحد [kg]
8	12	8	2	0.0000503	0.493
10	14	10	2	0.0000785	0.592
15	18	14	2	0.0001539	0.789
20	22	18	2	0.0002545	0.986
25	32	27.5	2.25	0.0005940	1.650
32	38	33.5	2.25	0.0008814	1.980
40	45	40.5	2.25	0.0012882	2.730
50	57	50	3.5	0.0019635	4.620
70	76	69	3.5	0.0037393	6.260
80	89	82	3.5	0.0052810	7.380
100	108	100	4.0	0.0078540	10.26
125	133	125	4.0	0.0122718	12.73
150	159	150	4.5	0.0176715	17.15
200	219	207	6.0	0.0336535	31.52

الجدول 63: أقطار الأنابيب النحاسية المستخدمة مع الفريون

الممر الشرطي للأنبوب النحاسي [mm]	القطر الخارجي [mm]	القطر الداخلي [mm]	سمكة الأنبوب [mm]	مساحة المقطع العرضي [m ²]	كتلة المتر الواحد [kg]
6	9	7	1.0	0.0000385	0.224
8	10	8	1.0	0.0000503	0.252
10	12	10	1.0	0.0000785	0.307
14	16	14	1.0	0.0001539	0.419
16	18	16	1.0	0.0002011	0.475
20	24	21	1.5	0.0003464	0.943
25	28	25	1.5	0.0004909	1.111
32	36	32	2.0	0.0008042	1.900
40	45	40	2.5	0.0012566	2.969
50	55	50	2.5	0.0019635	5.065



حساب الأحمال التبريدية لمستودعات التبريد

إن قيمة معامل انتقال الحرارة الكلي المحسوبة لجدار أو سقف مؤلف من عدة طبقات تحسب بالعلاقة:

$$(١) \quad K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_o} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{\delta_{ins}}{\lambda_{ins}} + \frac{1}{\alpha_i}}$$

حيث $\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ مجموع المقاومات الحرارية لطبقات الجدار أو السقف ما عدا الطبقة العازلة.

δ_{ins} سماكة الطبقة العازلة.

λ_{ins} معامل التوصيل الحراري للمادة العازلة.

من العلاقة (١) نجد الصيغة التي تحدد سماكة طبقة العزل δ_{ins} بالمتر:

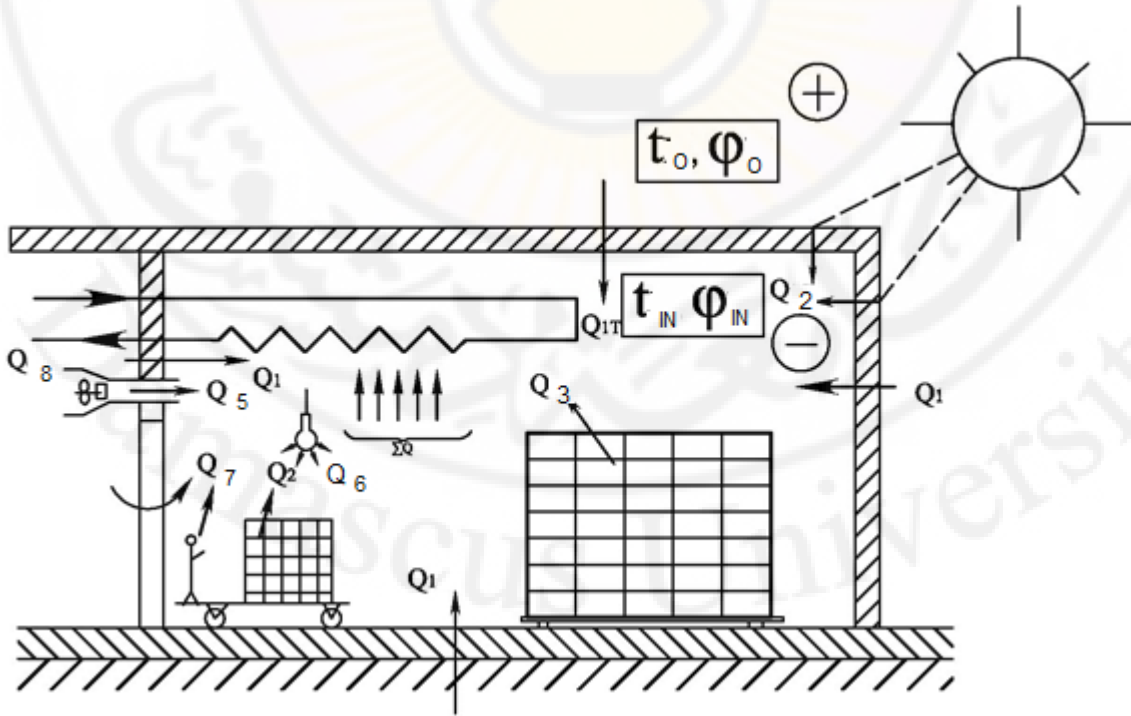
$$(٢) \quad \delta_{ins} = \lambda_{ins} \left[\frac{1}{K} - \left(\frac{1}{\alpha_o} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_i} \right) \right]$$

بعد تحديد السماكة للعازل الحراري بحسب مكان تركيبه (على الجدران الخارجية، الداخلية، الأرضيات،

الأسقف،...) وفق العلاقة (٢)، نقوم بتدوير قيمة السماكة إلى رقم صحيح زوجي ونعيد حساب معامل انتقال الحرارة

الفعلي للتركيب النهائي K_d ، وهو الذي نعتد به عند حساب الأحمال التبريدية لمستودع التبريد.

يظهر على الشكل (٥) مقطعاً في غرفة تبريد مبيناً فيه أحمال التبريد المطلوب تحديدها.



الشكل ٥: الأحمال الحرارية المختلفة على غرف التبريد

الأحمال الحرارية الناتجة عن غرف التبريد من الجهة الإنشائية Q

تتسرب الحرارة من الوسط المحيط إلى المكان المبرد بتأثير عاملين:

١- انتقال الحرارة عبر الجدران نتيجة وجود فرق بدرجات الحرارة بين الوسط الخارجي المحيط والهواء الداخلي $(t_o - t_i)$.

٢- امتصاص السطوح الخارجية للجدران والسقف لحرارة الإشعاع الشمسي.

ولذلك:

$$(٣) \quad Q = Q_1 + Q_2$$

أ- حساب الحمل الحراري الناتج عن فرق درجات الحرارة

١- يحسب الحمل الحراري الناتج عن الجدران والأسقف الخارجية والجدران الداخلية والفواصل والأسقف ما بين الطوابق بالعلاقة التالية:

$$(٤) \quad Q_1 = K_d F (t_o - t_i)$$

حيث K_d معامل الانتقال الحراري الكلي الحقيقي (الفعلي) للجدران أو السقف.

F مساحة سطح الجدار أو السقف.

t_i درجة الحرارة الداخلية (ضمن المكان المراد تبريده)، وتتخذ من الجدول 45.

t_o درجة الحرارة الخارجية التصميمية صيفاً في الموقع المرغوب إشادة مستودع التبريد فيه، وتتخذ

من الجدول 44.

التدفق الحراري الإجمالي Q_1 المعطى إلى الحيز المبرد يساوي إلى مجموع التيارات الحرارية المتدفقة عبر كل من السطوح المحددة للحيز المراد تبريده.

٢- حساب الحمل التبريدي الناتج عن أرضية مستودعات التبريد:

أ) إذا احتوت أرضية غرف التبريد على مسخنات كهربائية فإن:

$$Q = K_d F (t_m - t_i)$$

حيث t_m درجة الحرارة الوسطية للأرضية في حال وجود المسخن.

t_i درجة الحرارة الداخلية.

ب) أرضية المستودعات المبردة لا تحوي مسخنات مع وجود عزل حراري: في هذه الحالة يحسب الحمل التبريدي عبر هذه الأرضيات وفق العلاقة التالية:

$$Q = K F (t_1 - t_i) m$$

حيث K معامل انتقال الحرارة الشرطي الموافق للأرض.

F مساحة جبهة الأرض الموافقة.

t_1 درجة حرارة التربة الملاصقة للأرضية.

t_i درجة حرارة الهواء الداخلية.

m معامل يأخذ بعين الاعتبار زيادة المقاومة الحرارية للأرض من جراء وجود العزل

الحراري.

ب- حساب الحمل الحراري الناتج عن شدة الأشعة الشمسية

يعطى التدفق الحراري الناتج عن شدة الأشعة الشمسية بالعلاقة التالية:

$$(٥) \quad Q_2 = K_d F \Delta t_c$$

حيث K_d عامل انتقال الحرارة الحقيقي (الفعلي) لعناصر البناء (جدار خارجي، سقف، غطاء،...).

F مساحة أسطح البناء المعرضة لأشعة الشمس.

Δt_c فرق درجتي الحرارة من جراء تأثير الأشعة الشمسية في الصيف، ويؤخذ من الجدول ٥٥.

إن كمية الحرارة الناجمة عن تأثير الأشعة الشمسية تتعلق بجغرافية البراد وشكله وبمادة الطلاء والأغطية

المخصصة له.

من الضروري تحديد السطوح التي يجب حساب الحمل الحراري المتدفق خلالها والناتج عن الأشعة الشمسية.

وذلك لأن جهات بناء البراد كافة تتعرض للأشعة الشمسية على مدار النهار وبأوقات مختلفة لذا من الطبيعي عند

الحساب أن لا نأخذ التدفق الحراري لجميع السطوح المعرضة للإشعاع، إذا كان البناء يحتوي على عدد من الغرف

المبردة. عند حساب التدفق الحراري على الضاغط نأخذ التدفق الحراري عبر غطاء البراد والتدفق الحراري عبر

الجدار الخارجي الذي يتدفق عبره أكبر تدفق حراري بالمقارنة مع جميع جدران البناء في الزمن نفسه.

عند حساب التدفق الحراري لتجهيزات الغرفة المبردة يؤخذ التدفق الحراري عبر الجدار الذي يتدفق خلاله أكبر

حمل حراري بالنسبة للغرفة المعتبرة، وطبعاً عبر الغطاء إذا كانت الغرفة المبردة تقع مباشرة تحت الغطاء.

الحمل الحراري الناتج عن المعالجة التبريدية للمواد Q_3

يتم انتزاع الحرارة من المنتج عند التبريد، التجميد، زيادة التجميد. تحسب كمية الحرارة المطروحة من المنتج

عند ذلك بالعلاقة التالية:

$$(٦) \quad Q_3 = M_k (i_2 - i_1) \frac{1000 \times 1000}{3600 \tau}$$

حيث M_k الإدخلات اليومية للسلع إلى الغرفة $[ton/day]$.

i_1 انتالبي المواد عند الحفظ $[kJ/kg]$.

i_2 انتالبي المواد عند الإدخال $[kJ/kg]$.

τ زمن المعالجة التبريدية $[h]$.

تؤخذ قيمة الورود اليومي للسلع إلى غرف التخزين للبرادات للتوزيعية والإنتاجية:

• 6% وسطياً عندما تكون سعة الغرفة أكبر من 200ton.

• 8% عندما تكون سعة الغرفة حتى 200ton.

يؤخذ الورود اليومي لغرف برادات الفواكه بمعدل 6-8% من سعة الغرفة.

يسمح بإدخال يومي للفواكه الطازجة إلى غرف التخزين حتى 10%.

يؤخذ الورود اليومي للسلع إلى الغرفة في برادات شحن السمك من الموانئ بمعدل 20% من سعة الغرفة.

يحدد ورود السلع إلى غرف التجميد بإنتاجية الغرف وزمن معالجة السلعة.

تتعلق درجة حرارة ورود السلعة بتكنولوجيا الإنتاج وبوسائل توضع المواد وذلك عند الإدخال للبراد.

عند توريد السلع بدون تبريد أولي تؤخذ درجة حرارتها أقل من درجة حرارة الهواء الخارجي بمعدل $5-8^{\circ}\text{C}$.

تؤخذ مدة المعالجة التبريدية τ من الجدول 56 وتتعلق بنوعية السلع وكيفية تعبئتها وتركيبها.

يحدد i_1 و i_2 (انتالبي المنتج في بداية ونهاية المعالجة التبريدية على التوالي) بمعرفة درجتي حرارة دخول

وخروج السلعة وفق الجدول 57.

الحمل الحراري الناتج عن المعالجة التبريدية للأغلفة Q_4

$$(7) \quad Q_4 = M_t c_t (t_2 - t_1) \frac{1000}{3600 \tau}$$

حيث M_t الإدخالات اليومية من الأغلفة $[\text{ton/day}]$ (على سبيل المثال الصناديق البلاستيكية، الشكل

(6).

c_t السعة الحرارية النوعية للصناديق $[\text{J/kgK}]$.

t_1 درجة حرارة الغلاف عند الدخول.

t_2 درجة حرارة الغلاف عند الخروج.

τ زمن المعالجة التبريدية $[h]$.



الشكل ٦: الصناديق البلاستيكية المستخدمة في التخزين مع الطلبات الخشبية

تشكل M_t كتلة الأوعية والصناديق الخشبية من 15-20% من كتلة المادة (كما لو كان التفاح معبأ في صناديق خشبية)، أما العبوات الزجاجية البلورية فتشكل تقريباً 100% (كما هو الحال عند تخزين زجاجات الحليب). كذلك يجب الأخذ بعين الاعتبار الحمل الناتج عن عدد الطبلبات الموجودة ضمن المستودع (راجع الشكل ٦). ملاحظة: عند تصفيف الصناديق على الطبلبات لارتفاعات عالية ضمن مستودع التبريد، يفضل أن يكون التوضع متصالباً كما هو مبين في الشكل (٧).



الشكل ٧: طريقة توضع الصناديق على الطبلبات بصورة متصالبة

تؤخذ السعة الحرارية النوعية للأغلفة والصناديق c_t بالاعتماد على المادة المصنوعة منها الأغلفة أو الصناديق الحاوية على المواد المراد حفظها من الجدول 58.

الحمل الحراري الناجم عن تهوية الغرف المبردة Q_5

التهوية عبارة عن تنظيم تبديل الهواء الداخلي ضمن مستودعات التبريد بهواء خارجي جديد. يجب أن يبرد الهواء الخارجي الداخل إلى غرفة التبريد إلى درجة حرارة الغرفة وتخفض رطوبته النوعية حتى رطوبة كهواء غرفة التبريد.

تجري تهوية غرف التبريد عادة للأسباب التالية:

- ١- ضرورة تأمين شروط وسط هوائي عادية للعمال الذين يعملون في هذه الغرف.
 - ٢- وجود متطلبات تكنولوجية لحالة الوسط الهوائي.
- يؤخذ عدد مرات تبديل الهواء بحدود مرة واحدة إلى ستة مرات في اليوم، وبهذه الحالة يكون التدفق الناجم عن الهواء الخارجي:

$$(٨) \quad Q_5 = M_o (i_o - i_{im})$$

$$(٩) \quad M_o = V a \rho_i \frac{1000}{3600 \times 24}$$

$$(١٠) \quad Q_5 = V a \rho_i (i_o - i_{im}) \frac{1000}{3600 \times 24}$$

حيث M_o كمية الهواء الخارجي النقية اللازم إدخالها $[kg/s]$.

V الحجم الذي تشغله الغرفة المعنية $[m^3]$.

a عدد مرات تبديل الهواء في اليوم.

ρ_i كثافة الهواء عند الشروط الداخلية لهواء الغرفة (درجة الحرارة والرطوبة النسبية الداخلية) $[kg/m^3]$ ، وتتحدد من المخطط السايكومتري.

i_i الانتالبي النوعي للهواء الداخلي عند شروط هواء الغرفة (درجة حرارة الحفظ والرطوبة النسبية للحفظ)، $[kJ/kg]$.

i_o الانتالبي النوعي للهواء الخارجي عند شروط الهواء الخارجي التصميمية (درجة الحرارة الخارجية الجافة والرطوبة النسبية والتي تتحدد من الجدول 44 في المحافظات والمدن السورية).

قيمتي الانتالبي السابقتين (i_o, i_i) يتم تحديدهما بواسطة المخطط السايكومتري أو بمساعدة مخطط $(I - d)$.

تجهز غرف حفظ الفواكه والخضار بتهوية قسرية ويتجدد قدره 4 حجوم في اليوم أما غرف تسليم وتسويق

المنتجات فيجب أن تحوي على تهوية قسرية وتؤمن بتجديد قدره 10 حجوم في الساعة.

التدفق الحراري Q_5 يحسب كاملاً عند تقييم الضواغط واختيارها وكذلك تجهيزات الغرفة.

الحمل الحراري الناجم عن الاستثمار

بالإضافة إلى التدفقات الحرارية الرئيسية الآتية الذكر، توجد هناك تدفقات حرارية أخرى ناجمة عن استثمار غرف التبريد والإضاءة والرافعات الشوكية وعن المحركات الكهربائية الداخلية وعن الأبواب أثناء فتحها... الخ.

أ- التدفق الحراري الناتج عن الإضاءة

الطاقة الكهربائية المنقولة إلى مصابيح الإضاءة تتحول بكاملها إلى حرارة، ولذلك إذا كانت N استطاعة

المصابيح بـ $[W]$ الموجودة في غرف التبريد، فالتدفق الحراري في واحدة الزمن يكون:

$$(١١) \quad Q_6 = N$$

عند تخطيط غرف التبريد يمكن استخدام معدلات استطاعة مصابيح الإضاءة بالنسبة لكل $1m^2$ من مساحة

أرض الغرفة، وبالتالي فالتدفق الحراري الناتج عن الإضاءة يحسب بالعلاقة التالية:

$$(١٢) \quad Q_6 = AF$$

حيث A كمية الحرارة المطروحة من مصابيح الإضاءة في واحدة الزمن لكل متر مربع واحد من

الأرض، $[W/m^2]$.

F مساحة الغرفة، $[m^2]$.

تؤخذ A لغرف الحفظ (التخزين) $1.2W/m^2$ ، ومن أجل غرف التبريد والتجميد $4.5W/m^2$.

ب- التدفق الحراري الناتج عن دخول وخروج العاملين

كمية الحرارة التي يفرزها الشخص الواحد أثناء العمل المتوسط الجهد حوالي $350W$ ، وبالتالي فالتدفق الحراري الناتج عن العمال:

$$(١٣) \quad Q_7 = 350n$$

حيث n عدد العمال الموجودين في الغرفة الواحدة.

إن عدد العمال في غرفة التبريد يتعلق بمساحتها، فمثلاً للمساحة حتى $200m^2$ يتراوح عدد الأشخاص فيها 2-3، وإذا كانت المساحة أكبر من $200m^2$ يحدد لها 3-4 أشخاص.

ت- التدفق الحراري الناتج عن تشغيل المحركات الكهربائية

في غرف التبريد يمكن أن تعمل بعض الأجهزة كالمراوح (في نظام التبريد الهوائي، بينما يلغى هذا الحمل الناتج عن المراوح في حال استعمال بطاريات التبريد ضمن مستودعات التبريد بدلاً من المبخرات الهوائية) والمضخات وغير ذلك. إن عمل المحركات الكهربائية لهذه الآلات يتحول إلى حرارة.

إذا كانت المحركات موجودة داخل غرف التبريد، فالحرارة التي تطرحها تنتقل إلى هواء الغرفة وتحسب بالعلاقة:

$$(١٤) \quad Q_8 = \eta' \sum N_e 10^3$$

حيث η' عامل يراعي عدد الأجهزة التي تعمل في الوقت نفسه، وهو يتعلق بعدد المحركات الكهربائية وبطبيعة العملية التكنولوجية، ويؤخذ في المجال $0.4-1.0$. $\eta' = 1$ في حال كان لدينا محرك واحد يؤخذ $\eta' = 1$.
 N_e استطاعة المحرك الكهربائي $[kW]$.

في الحالات التي تكون فيها المحركات الكهربائية متوضعة خارج غرف التبريد، فالتدفق الحراري يكون ناتجاً عن تحول العمل المفيد للأجهزة (مراوح، نواقل وغيرها)، وبالتالي يدخل في العلاقة السابقة عامل المردود ويحسب التدفق بالعلاقة:

$$(١٥) \quad Q_8 = \eta' \sum N_e \eta_e 10^3$$

حيث η_e مردود المحرك الكهربائي.

يمكن تحديد استطاعة المحرك الكهربائي بشكل تقريبي بحيث يتناسب مع حجوم هذه الغرف ومع استطاعة الأجهزة التبريدية، فمثلاً:

- غرف حفظ المواد المبردة مسبقاً: $1-4kW$.
- غرف التبريد: $3-8kW$.

• غرف التجميد: $8-16kW$.

ث- التدفقات الحرارية الناتجة عن فتح الأبواب

يعطى التدفق الحراري بالعلاقة:

$$(١٦) \quad Q_9 = BF$$

حيث B التسرب الحراري النوعي من خلال الأبواب.

F مساحة غرفة التبريد، $[m^2]$.

إن قيمة B تتعلق بوظيفة وحجم غرفة التبريد وتكون قيمته أكبر لغرف التبريد الصغيرة منها للكبيرة. تعطى بالجدول 59 قيمة التدفق الحراري النوعي للغرف التبريدية ذات الارتفاع $6m$ ، وعند الارتفاعات الأكبر تزداد القيم بشكل طردي.

ملاحظة

إذا كان من الصعب حساب التدفقات الحرارية الناتجة عن الاستثمار عند التخطيط والتصميم، يمكن أخذها في المجال:

$$(١٧) \quad Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 = (0.1 - 0.4)(Q_1 + Q_2 + Q_5)$$

القيم الأكبر تؤخذ للمحطات الصغيرة الاستطاعة.

التدفقات الحرارية الناتجة عن تنفس الفواكه

تحدد هذه التدفقات بالعلاقة التالية:

$$(١٨) \quad Q_{10} = E(0.1q_1 + 0.9q_2)$$

حيث E سعة الغرفة $[ton]$.

q_1 ما تطرحه المنتجات من حرارة عند دخولها $[W/ton]$.

q_2 ما تطرحه المنتجات من حرارة عند حفظها أو تبريدها $[W/ton]$.

يبين الجدول 60 قيم الطرح الحراري لبعض المواد.

في النهاية يكون الحمل التبريدي الإجمالي لمستودع التبريد:

$$(١٩) \quad Q_b = \sum_{i=1}^{i-10} Q_i$$

حساب شبكة أنابيب دائرة التبريد واختيارها

تصنيف أنابيب دائرة التبريد

١- أنابيب السحب

وهي عبارة عن الأنابيب الواصلة بين المبخر والضاغط، وهي أصعب جزء من حيث تقدير أقطارها وسرعة وسيط التبريد وانخفاض الضغط.

القطر الأفضل لأنابيب السحب هو القطر الذي ينتج عملياً أدنى فقد في الضغط مع الانضغاط للبخار بسرعة تكفي للتأكد من رجوع الزيت. ويجب أن نعزل هذه الأنابيب لكي لا تتسرب الحرارة من الوسط الخارجي إلى وسيط التبريد.

٢- أنابيب الدفع

إن أنابيب الدفع هي عبارة عن الأنابيب الواصلة بين الضاغط والمكثف، ويتم اختيارها من المخططات أو الجداول.

تعين أقطار هذه المجموعة بطريقة مشابهة لطريقة تعيين قطر أنبوب السحب، إذ إن أي خفض في ضغط وسيط التبريد خلال مواسير التصريف يعمل على رفع ضغط التصريف وتقليل سعة مجموعة التبريد. وعند تعيين أقطار أنابيب الدفع يجب أن يكون انخفاض الضغط فيها أقل ما يمكن من الناحية العملية، ويلزم أن تميل أنابيب الدفع إلى الأسفل في اتجاه انسياب وسيط التبريد، بحيث إذا حصل ضخ الضاغط على خط التصريف يتم سحبه إلى المكثف ولا يعود إلى رأس الضاغط.

٣- أنابيب السائل

يتم توصيل وسيط التبريد سواء كان مبرداً تبريداً ببنياً أم لا مع الاحتفاظ بضغط السائل مرتفعاً بما يكفي ليعمل جهاز التحكم بشكل جيد. وحيث أن وسيط التبريد بهذا الخط بحالة سيولة فإن الزيت الذي يمتزج مع وسيط التبريد يدخل إلى المبخر، ولذلك لا يوجد مشاكل بالنسبة لإرجاع الزيت في خطوط السائل، ولهذا السبب فإن تصميم أنابيب السائل أقل صعوبة من تصميم أنابيب باقي الدارة.

الشروط الواجب توفرها في شبكة الأنابيب

عند اختيار تصميم الأنابيب، يجب أن نأخذ بعين الاعتبار مجموعة من الشروط والاحتياجات التي يجب أن توفرها هذه الأنابيب لأجهزة التبريد لتعمل جيداً:

- ١- تأمين كمية وسيط التبريد المناسبة لاستطاعة كل مبخر.
- ٢- تحقيق رجوع الزيت باستمرار إلى الضاغط.
- ٣- تحقيق عدم تجمع كميات من الزيت في المبخر أو خط السائل.
- ٤- تأمين عدم تسرب وسيط التبريد إلى داخل أجزاء الضاغط أثناء التشغيل أو التوقف.

يجب أن تحقق الشبكة المختارة من الأنابيب أن تكون سرعة وسيط التبريد فيها كافية لإرجاع الزيت داخلها وعند أقل تحميل للضاغط المستخدم.

اختيار موقع الأنابيب

يفضل دوماً أن تثبت الأنابيب الواسلة بين أجزاء دائرة التبريد بشكل لا يعيق أيًا من عمليات الصيانة للأجهزة أو يعيق سهولة التحرك داخل غرف التبريد وغالباً تتركب بصورة متوازية للجدران بشكل لا يبعد أكثر من 5cm عن السقف ويراعى أثناء التثبيت أن يكون خط السحب أو التصريف مائلاً بشكل بسيط باتجاه الانسياب للوسيط المستخدم.

عزل أنابيب وسيط التبريد

إن عزل الأنابيب الناقلة لوسيط التبريد ضروري لأن عدم وجود عزل لهذه الأنابيب يؤدي إلى حدوث تبادل حراري مع الهواء المحيط بسبب وجود فرق في درجات الحرارة ، كمية الحرارة المتبادلة تتبع إلى فرق درجات الحرارة بين الوسيطين وللمحد من التبادل الحراري نلجأ إلى عزل الأنابيب بمواد عازلة حرارياً مناسبة بحيث تحقق أفضل الشروط.

حساب أقطار الأنابيب

تحتسب الأقطار الداخلية لأنابيب الدارة على اختلاف مكانها ضمن الدارة بالعلاقة التالية:

$$d = 1.13 \sqrt{\frac{V}{W}}$$

حيث d قطر المقطع العرضي للأنبوب، $[m]$.

V تدفق وسيط التبريد المار في الأنبوب، $[m^3/s]$ (وهو معلوم من حساب دائرة التبريد).

W السرعة الحسابية لجريان وسيط التبريد في الأنبوب $[m/s]$ ، والتي نختارها بحسب نوع الأنبوب

من الجدول 61.

نختار قطر الأنبوب من الجداول (62 و 63) بحيث يكون القطر الداخلي يساوي أو أكبر من القطر الداخلي المحسوب وفق العلاقة السابقة شرط أن تكون السرعة الحسابية في هذه الحالة ضمن الحدود المسموح بها حيث يكون الأنبوب من الفولاذ بالنسبة للألمونيا (الجدول 62) ومن النحاس بالنسبة للفرين (الجدول 63).

معجم المصطلحات العلمية باللغة الإنكليزية

A		Cooling Load	الحمل التبريدي
Absorption Refrigeration	التبريد الامتصاصي	Cooper	نحاس
Air	الهواء	Critical Point	النقطة الحرجة
Air Conditioning	تكييف الهواء	D	
Ammonia	أمونيا	Density	كثافة
Area	مساحة	Diameter	قطر
Azeotropic Blends	الخلاطات الأزيوتروبية	Discharge Line	أنبوب الدفع
B		Door	باب
Boiling	غليان	Dry Air	الهواء الجاف
Braine	محلول ملحي	Dry Saturated Vapor	البخار المشبع الجاف
Bromine	البروم	Dynamic Viscosity	لزوجة تحريكية
C		E	
Calcium Chloride	كلور الكالسيوم	Efficiency	مردود
Carbon	الكربون	Energy	طاقة
Carbon Dioxide	ثاني أكسيد الكربون	Engine	محرك
Ceiling	سقف	Enthalpy	الانتالبي
Chlorine	الكلور	Entropy	الانتروبي
Cold Stores	مستودعات التبريد	Evaporator	المبخر
Compressor	الضاغط	F	
Condensation	التكاثف	Floor	أرضية
Condenser	المكثف	Flow	تدفق
Concentration	التركيز	Fluorine	الفلور
Convective Heat Transfer Coefficient	معامل	Force	قوة
انتقال الحرارة بالحمل		Freon	الفرينون
Freezing	التجمد		

H

Heat

Heat Flow

Heat Flux

h-p Chart

Hydrogen

I

Insulation

Internal Energy

Isobar

Isobaric Specific Heat
السعة الحرارية عند ضغط ثابت

Isochor

Isotherm

K

Kinematic Viscosity

L

Latent Heat

Latent Heat of Evaporation
الحرارة الكامنة للتبخير

Lighting

Liquid Line

M

Melting

Milk

Moist air

Motor

Specific Volume

O

Ozone

P

Pipe

Phase Change

Prandtl Number

Pressure

Power

RRadiated Heat Transfer Coefficient
معامل انتقال الحرارة بالإشعاع

Refrigerant

Refrigeration Ton

Refrigerators

Relative Humidity

Respiration

Roof

S

Saturated liquid

Saturated liquid line

Saturated vapor

Saturated vapor line

Sodium Chloride

Specific Enthalpy

Specific Entropy

Specific Heat

Specific Internal Energy

Specific Volume

الأوزون

أنبوب

التحول الطوري

عدد براندل

ضغط

استطاعة

وسيط التبريد

الطن التبريدي

آلات التبريد

الرطوبة النسبية

تنفس

سقف

السائل المشبع

المنحني الحدي الأعلى

البخار المشبع

المنحني الحدي الأدنى

كلور الصوديوم

الانتالبي النوعي

الانتروبي النوعي

الحرارة النوعية، السعة الحرارية

الحرارة النوعية، السعة الحرارية

الطاقة الداخلية النوعية

Steam	بخار	Water	الماء
Steel	فولاذ	Z	
Suction Line	أنبوب السحب	Zeotropic Blends	الخلاط الزيتروبية
Superheated Vapor	البخار المحمص		
Surface Tension	التوتر السطحي		
T			
Temperature	درجة الحرارة		
Thermal Conductivity	معامل التوصيل الحراري		
Thermal Diffusivity	معامل الانتشار الحراري		
Thermal Load	الحمل الحراري		
Throttling Valve	صمام الخنق		
Total Heat Transfer Coefficient	معامل انتقال		
الحرارة الكلي			
T-s Chart	مخطط $T - s$		
Tube	أنبوب		
U			
Ultraviolet Rays	الأشعة فوق البنفسجية		
V			
Vapor	بخار		
Velocity	سرعة		
Ventilation	تهوية		
Viscosity	لزوجة		
Volume	حجم		
Volumetric	Temperature	Expansion	
Coefficient	معامل التمدد الحجمي		
W			
Wall	جدار		



جدول الرموز المستخدمة

الرموز اللاتينية

a	معامل الانتشار الحراري؛ عدد مرات تبديل الهواء في اليوم
B	التسرب الحراري النوعي من خلال الأبواب
c_p	السعة الحرارية عند ضغط ثابت
c'_p	السعة الحرارية عند ضغط ثابت للسائل المشبع
c''_p	السعة الحرارية عند ضغط ثابت للبخر المشبع الجاف
c_{paw}	السعة الحرارية عند ضغط ثابت للهواء الرطب المشبع.
c_t	السعة الحرارية النوعية للأغلفة والصناديق
d	قطر المقطع العرضي للأنبوب
d''	مضمون الرطوبة للهواء الرطب المشبع.
E	سعة الغرفة
F	المساحة
F_b	المساحة الإنشائية
F_ℓ	المساحة السلعية
i	الانتالبي؛ انتالبي الهواء الرطب المشبع.
i'	انتالبي السائل المشبع
i''	انتالبي البخار المشبع الجاف؛ انتالبي بخار الماء المشبع في الهواء الرطب
i_c	انتالبي الهواء الجاف.
K_d	معامل الانتقال الحراري الكلي الحقيقي (الفعلي)
K_o	معامل الانتقال الحراري الكلي الشرطي
m	معامل
M_k	الإدخالات اليومية للسلع إلى الغرفة
M_o	كمية الهواء الخارجي النقية اللازم إدخالها
M_t	الإدخالات اليومية من الأغلفة
p	الضغط، الضغط الجزئي لبخار الماء في الهواء المشبع.

كمية الحرارة	Q
معدل التخزين السطحي	q_f
الحرارة الكامنة للتبخّر	r
الانتروبي	s
انتروبي السائل المشبع	s'
انتروبي البخار المشبع الجاف	s''
درجة الحرارة	t
درجة حرارة إشباع الخليط الزيوتروبي (حالة السائل المشبع)	t_{Bubble}
درجة حرارة إشباع الخليط الزيوتروبي (حالة البخار المشبع الجاف)	t_{Dew}
درجة الحرارة الداخلية	t_i
درجة الحرارة الخارجية	t_o
درجة حرارة التجمد	t_s
الطاقة الداخلية	u
الحجم؛ تدفق وسيط التبريد المار في الأنبوب	V
الحجم النوعي	v
الحجم النوعي للسائل المشبع	v'
الحجم النوعي للبخار المشبع الجاف	v''
السرعة الحسابية لجريان وسيط التبريد في الأنبوب	W

الرموز اليونانية

معامل انتقال الحرارة السطحي	α
معامل الاستفادة من المساحة	β
سماعة جدار/طبقة	δ
فرق درجتي الحرارة من جراء تأثير الأشعة الشمسية	Δt_c
كسر الجفاف	χ
مردود المحرك الكهربائي	η_e
معامل التوصيل الحراري	λ

معامل التوصيل الحراري للسائل المشبع	λ'
معامل التوصيل الحراري للبخار المشبع الجاف	λ''
اللزوجة التحريكية	μ
اللزوجة التحريكية للسائل المشبع	μ'
اللزوجة التحريكية للبخار المشبع الجاف	μ''
اللزوجة الحركية	ν
الكثافة	ρ
معامل التوتر السطحي	σ
زمن المعالجة التبريدية	τ

المراجع المعتمدة

المراجع باللغة العربية

- ١- آلات التبريد، د. نديم مخبير، د. علي عيسى - منشورات جامعة دمشق، ٢٠١٠.
- ٢- ملحق آلات التبريد (الطبعة السابقة)، د. نديم مخبير - منشورات جامعة دمشق، ١٩٩١.
- ٣- تحويل الطاقة، د. نديم مخبير، د. محمد سعيد الجراح، د. محمد جلال الملقى - منشورات جامعة دمشق، ٢٠٠٤.
- ٤- انتقال الحرارة، د. نديم مخبير - منشورات جامعة دمشق، ٢٠٠٠.
- ٥- مسائل في انتقال الحرارة، د. نديم مخبير، د. سهيل مرشدة، منشورات جامعة دمشق، ١٩٩٧.
- ٦- الكود السوري للعزل الحراري في الأبنية في الجمهورية العربية السورية، وزارة الكهرباء، المركز الوطني لبحوث الطاقة، ٢٠٠٧.

المراجع باللغة الروسية

- 7- Явнель Б. К- Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха – 2012.
- 8- Цветков О.Б., Лаптев Ю.А. Таблицы свойств холодильных агентов: Учеб.-метод. пособие. – , Санкт-Петербург 2013.
- 9- Богданов С.Н., Бурцев С.И., Иванов О.П., Куприянова А.В. Холодильная техника. Кондиционирование воздуха. Свойства веществ: Справ./ Под ред. С.Н. Богданова. 4-е изд., перераб. и доп. 1999.
- 10- Александров А.А., Григорьев Б.Г. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. – М.: Изд-во МЭИ, 1999.
- 11 – Белоусов. В.С., Нейская . С.А., Ширяева .Н.П., Ясников Г.П,ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПРОЦЕССЫ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА,Екатеринбург2005
- 12 - Холодильная техника и технология : учебное пособие. В 2-х частях. Ч. 1 / Воробьева Н.Н.; Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. - Кемерово, 2006
- 13- Большаков С.А. Холодильная техника и технология продуктов питания. – М.: Изд. центр «Академия», 2003.
- 14- Тепломассообмен учеб. пособие к практ. Занятиям М. С. Лобасова, А. А. Дектерев, Д. С. Серебренников.– Красноярск : ИПК СФУ, 2009

15- Теплофизические свойства металлов при высоких температурах , Зиновьев В.Е. Металлургия, 1989 г

16- Дипломное проектирование предприятий общественного питания. /Л. З.

Шильман, А.И. Черевко и др.: Харьковская гос. академия техн. и орг. питания.-Саратов. гос. агр. университет имени И.И. Вавилова/, г.Саратов, 2001.

17- Холодильная технология пищевых продуктов: учебник для вузов: в 3 ч. / В.И. Филиппов, М.И. Кременевская, В.Е. Куцаков. – Часть 2. Технологические основы. – СПб.: ГИОРД, 2008. – 576с.

18- Холодильная технология пищевых продуктов: учебник для вузов в 3 кн. Часть 1. Теплофизические основы / А.Н. Бараненко – СПб.: ГИОРД, 2007. – 224с.

19- Теплообменные аппараты холодильных установок/ Г.Н. Данилова [и др]. – Л.: Машиностроение, 1973.

20- Теплофизические характеристики пищевых продуктов. Справочник. Гинзбург А.С. и др. Москва, 1980.

المراجع باللغة الإنكليزية

21- ASHRAE, ASHRAE Handbook 1997, Fundamentals, Atlanta, GA, 1997.

22- ASHRAE, ASHRAE Handbook 2005, Fundamentals, Atlanta, GA, 2005.

23- Dossat, R. J., Principles of Refrigeration, Wiley, 2d ed., New York, 1978

اللجنة العلمية

أ.د. مروان شرباتي

أ.د. محمد سعيد الجراح

أ.د. عبد الرحمن الشياح

المدقق اللغوي

د . حمود يونس



حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة (مديرية الكتب والمطبوعات)