الباب الخامـــــــــس

جداول خـواص الديناميكـا الحراريـة

Tables of Thermodynamics Properties

1.5. مقدمة
2.5. التعريف بالجداول والرموز المستخدمة
3.5. طرق استخدام الجداول – أمثلة –
4.5. الجداول الملحقة

- جداول (1 - 1) . خواص التشبع للماء وبخار الماء (H_2O) : في درجات الحرارة .

- جدول (1 – 2) . خواص التشبع للماء وبخار الماء (H_2O) : دالة في الضغوط .

- جدول (1 – 3) – خواص البخار المحمص

- جدول (1 – 4) . خواص الماء السائل المضغوط .
- جدول (1 – 5) . خواص الماء المشبع بخار – صلب
- جدول (2 – 1) . خواص التشبع للسائل وبخار غاز التبريد فريون – 12
- جدول (2 – 2) . خواص البخار المحمص لغاز التبريد فريون – 12
- جدول (2 – 3) . خواص التشبع للسائل وبخار غاز التبريد فريون – 22
- جدول (3 – 1) . خواص التشبع للسائل وبخار الأمونيا .
- جدول (3 – 2) . خواص البخار المحمص للأمونيا
- جدول (4 – 1) الأنثالبيا (h) والطاقة الداخلية (u) للغازات المثالية

جداول خواص الديناميكا الحرارية

TABLES OF THERMODYNAMICS PROPERTIES

1.5. مقدمـــــــــــــة

عادة ما تستخدم المخططات والخرائط الثرموديناميكيـــة ، للحصـــول علـــى خـــواص ثرموديناميكية معينة للمواد . لكن في كثير من الأحيان يتم رصـــد وجدولـــة هـــذه الخـــواص باستخدام الجداول (Tables) ، حيث تتميز هذه الجداول بأنها يمكن أن تحتوي على اكـــبر عدد من المتغيرات التي لا يمكن رصدها في الخرائط والمخططات البيانيـــة الأخـــرى . كمـــا تتميز هذه الجداول في إمكانية قراءة الخواص الثرموديناميكية , والبارامترات المختلفة اللازمـــة بسهولة ودقة ووضوح بالمقارنة مع طريقة استخدام الخرائط والمخططات البيانيـــة للحصـــول على نفس الخواص ، بالإضافة إلى إن استخدام الجداول يساعد المبتدئ فـــي دراســـة علـــم الديناميكا الحرارية وحل المسائل في الحصول على الخواص اللازمة بطريقة سهلة ومبسطـــة

.2.5. التعريف بالجداول والرموز المستخدمة .

المجموعة الأولى من " الجداول " هي جداول البخار وتقسم إلى نوعين : -

أولا: جداول السائل والبخار (Liquid - Vapour Tables) وتحتوي على خـــواص التشبع للماء وبخار الماء المتواجد في حالة اتزان ، ونظرا لأهمية البخار كوسط لإنتاج القـــدرة فان هذه الجداول تعد وترصد بدقة فائقة وعلى فترات متقاربة جدا لدرجة انه يمكن عمل تمديـــد خطي بين هذه الفترات دون الحصول على خطا ملموس .

تستخدم في هذه الجداول مجموعة من الرموز القياسية التي تعبر عن خـــواص وحالـــة المادة حيث :-

*الرمز- (f) - يبين خاصية السائل المشبع .

*الرمز- (g) - يبين خاصية البخار المشبع .

*الرمز- (f_g) - يشير إلى قيمة الفرق بين أي خاصية للبخار المشبع وقيمتها للسائل المشـــبع (التحول من سائل إلى بخار)

*الرمز – (T_f) – يشير إلى درجة حرارة التشبع ، أي درجة الحرارة التي يبدأ عندها الغليان عند تسخين السائل أو يبدأ عندها التكثيف عند تبريد البخار

*الرمز – (P_f) – يشير إلى ضغط التشبع .

*الرمز – (V_f) – يشير إلى الحجم النوعي للسائل المشبع .

*الرمز –(V_g) – يشير إلى الحجم النوعي للسائل المشبع .

*الرمز – (V_{fg}) –يشير إلى الفرق بين الحجم النوعي للبخار المشبع والحجم النوعي للسائل المشبع أو بمعنى أخر الزيادة في الحجم النوعي ($V_g - V_f$) .

ومن تنسيق الجداول يتضح إن معرفة خاصية واحدة من هذه الخواص تمكننا من معرفة باقي الخواص بشرط أن يكون الماء أما سائلا مشبعا أو بخارا مشبعا . جدول (1-1) وجدول (1-2) .

ثانياً : جداول البخار المحمص (Super Heated Vapour Tables)

وتعتبر النوع الثاني من جداول البخار وتحدد خواص البخار المتواجد عند درجات حرارية تفوق تلك الدرجة اللازمة لتشبعه وهذه هي في الواقع منطقة (الغاز) ، وهي المنطقة التي تقع على يمين خط البخار المشبع حيث نجد أن الضغط ودرجة الحرارة قد تم اعتبارها متغيرات مستقلة ، وبالتالي يمكن استخدامها لتحديد الحجم النوعي للبخار في هذه المنطقة وقد أعدت جداول البخار المحمص بالصورة التي تتيح إمكانية استخراج قيم الحجم النوعي عند معرفة الضغط ودرجة الحرارة. جدول (1-3)

جداول الماء السائل المضغوط (Compressed Liquid Water)

السائل المضغوط هو السائل الذي يوجد تحت ضغط أعلى من ضغط التشبع المناظر لدرجة حرارته .وقد وجد أن خواص الماء في منطقة السائل المضغوط لا تتأثر كثيرا بتغير الضغط . فزيادة الضغط في هذه المنطقة بمقدار مائة مرة لا يغير في خواص الماء إلا بحوالي واحد في المائة ، ونخص هنا بالضغوط التي لا تتعدى(5Mpa). ولذا اعتمدت قاعدة عامة تقريبية لتحديد خواص سائل الماء وذلك بمعاملته على انه سائل مشبع عند درجة الحرارة المعطاة ، وعلى سبيل المثال الحجم النوعي لسائل الماء عند درجة حرارة (50C°) وضغط(1MPa) يعادل الحجم النوعي لسائل الماء المشبع عند نفس درجة الحرارة (50C°). لذا فانه عادة تستخدم جداول السائل المشبع والبخار المشبع في إيجاد خواص السائل المضغوط التي تقع تحت ضغط اقل من (5Mpa) .

عند ضغط أعلى من (5Mpa) يبدأ تأثير الارتفاع في الضغط واضحا على قيم خواص السائل . لذا يستعان في هذه الحالة على الضغط ودرجة الحرارة خاصيتين مستقلتين لتحديد خواص السائل كما هو في البخار المحمص جدول (1-4).

رابعاً : - جداول خواص الماء المشبع بخار – صلب

(Saturated Solid Vapour Tables)

من تنسيق هذه الجداول يتضح إن معرفة خاصية من الخواص تمكننا من معرفة باقي الخواص بشرط أن يكون الماء بخارا مشبعا أو صلبا مشبعا . يرمز في هذه الجداول بالرمز(I) للحالة الصلبة حيث أن(Hig) مثلا- هي انثالبية التغير من صلب إلى بخار أي أنثالبيا التسامي جدول(1-5).

المجموعة الثانية من " الجداول " هي الجداول الخاصة بغازات التبريد .

يطلق على الغاز الذي تشحن به دوائر التبريد اسم مركب التبريد وأحيانا يسمى وسيط التبريد وأي غاز تكون درجة غليانه منخفضة يصلح كوسيط تبريد . ولكن بالطبع لا يجوز شحن أي دائرة بأي غاز حيث أن كل دائرة يتم تصميمها لتعمل على غاز معين متناسب معها من حيث عدم تفاعله مع الأجزاء المصنعة منها ومن حيث درجات الحرارة وضغوط التشغيل وأشياء أخرى . ومن هذه الغازات يعتبر الفريون (Freon) أحد وسائط التبريد ، حيث يستخدم في الأجهزة ، ذات درجات الحرارة المنخفضة تصل إلى ($-30C^{\circ}$) الفريون (Freon) اسم تجاري تمتلكه شركة أمريكية شهيرة ويطلق على مجموعه من وسائط التبريد التي تتكون من الكاربون والكلور والفلور .

وقد اكتشفت مركبات تبريد الفريون عام (1928) . وأول مركب اكتشف كان (فريون –12) ويرمز لها بالرمز(R) أو الرمز(F) . وقد تضمن هذا الكتاب الجداول الخاصة بخواص غازات الفريون وذلك لأنها تعتبر أكثر وسائط التبريد انتشاراً وتقسم هذه

المجموعة من الجداول إلى :-

أولا :- جداول التشبع للسائل وبخار التبريد فريون12

(Saturation Properties Of Refrig-Rant - 12)

يتميز مركب التبريد فريون - 12(Freon) بان درجة غليانه تحت الضغط الجوي منخفضة وتساوي $28.8C^{\circ}$ ، ويعتبر أمن تماماً حيث انه غير سام وغير قابل للاشتعال

والانفجار . مكوناته هي كربون وكلور وفلـــور ، ورمـــزه الكيميـــائي (CCL_2F_2) ، قـــابل للامتزاج بالزيت ويعتبر اكثر وسائط التبريد انتشاراً باســـتخدام الجـــداول الملحقـــة نســـتطيع الحصول على خواص الثرموديناميكيه إن كان سائلا مشبعا أو بخار مشبعا أو بخار محمصـــا . جدول (2-1) وجدول (2-2) .

ثانياً : - جداول خواص التشبع للسائل وبخار غاز التبريد فريون - 22

(Saturation Properties Of Refrigerant - 22)

مركب التبريد فريون - 22 (Freon 22) اكتشف عـــام (1936) ، ويتمـــيز بأنـــه قـــابل لامتصاص الرطوبة اكثر من فريون - 12ودرجـــة غليانـــه تحـــت الضغـــط الجـــوي ($40.8C^o$) ومكوناته كربون وكلور وفلور وهيدروجين ورمـــزه الكيميـــائي ($CHClF_2$)، يستخدم في الأجهزة الكبيرة نسبيا مثل أجهزة التكييف والأجهزة ذات ضغوط التشغيل المرتفعـــة الجداول الملحقة الخاصة بهذا الغاز تمكننا من الحصول على خواصه الثرموديناميكية المختلفـــة جدول(2-3).

ثالثا : - جداول خواص التشبع للسائل وبخار الامونيا

(SATURATED PROPERTIES OF REFRIGERANT -717 - AMMONIA -)

يتميز مركب التبريد- 717 غاز النشادر أو الأمونيا بأنه رخيص وســـهل الحصـــول عليه ويعطي تأثير تبريدي أعلى من أي وسيط أخر حيث يعتـــبر الأمثـــل فـــي اســـتخدامات مصانع الثلج والتعليب وغرف التبريد أو التجميد الكبيرة ، يتكون من نيتروجين وهيدروجيـــن ، ودرجة غليانه تحت الضغط الجوي ($33.3C^o$) ، ورمزه الكيميائي (NH_3) ، ومن عيوبه انه سام وقابل للاشتعال والانفجار وفي حالة وجود نسبة رطوبة به يتفاعل مـــع المعـــادن الغـــير حديدية ، لذلك تصنع دوائره كلها من الحديد ويعتبر أول وسيط تبريد استعمل في دائرة تـــبريد والجداول الملحقة تمكننا من الحصول على خواصه الثرموديناميكية أن كان ســـائلا مشـــبعا أو بخارا مشبعا أو بخارا محمصا . جدول(3-1) وجدول(3-2) .

المجموعة الثالثة من الجداول هي : -

جداول الانثالبيا (h) والطاقة الداخلية للغازات المثالية .

حيث تتضمن هذه المجموعة من الجداول الخواص الثرموديناميكية للغازات المثالية مثل الهواء والهيدروجين ، والنيتروجين ، والأوكسجين ، وثاني أوكسيد الكربون وغيرها .

وهذه الجداول ذات بارامتر واحد هو درجة الحرارة ، إذ إن الطاقة الداخلية(u) والانثاليبا(h) والسعة الحرارية عند ثبات الحجم(Cv) والسعة الحرارية عند ثبات الضغط (Cp) تتعلق فقط بدرجة الحرارة . جدول(4-1).

3.5 طرق استخدام الجداول – أمثلة –

نلاحظ من البند السابق إن طرق استخدام الجداول المختلفة للحصول على الخواص الثرموديناميكية تعتمد على المعرفة المبدئية لحالة المادة بالإضافة إلى معرفة بارامترات الحالة من ضغط ودرجة حرارة وغيره ، والأمثلة المختلفة الآتية سوف تساعد المبتدئ على كيفية التعامل مع مجموعات الجداول المختلفة للحصول على الخواص الثرموديناميكية اللازمة .

مثال (5.1)

أوجد الطاقة الداخلية u للبخار عند ضغط 600Kpa ودرجة حرارة $300C^{o}$.

الحل :-

البخار عند درجة حرارة $300C^{o}$ يكون في منطقة الغاز أي محمصا .

طبقا للجدول (1-3)- خواص البخار المحمص نجد أن الانثاليبا (h) عند ضغط 600Kpa=0.6Mpa

هي : -

$h=301.1KJ/Kg$

والحجم النوعي هو : - $V = 0.4344\ m^3/Kg$

والطاقة الداخلية :- $u = 2801\ KJ/Kg$

في بعض الأحيان لا تعطى الجداول قيم الطاقة الداخلية (u) ، لذلك يمكن إيجادها باستخدام العلاقة الآتية :

$$u = h - pv = 3061.6 - 600 \bullet 0.4344 = 2801\ KJ/Kg$$

نلاحظ أن قيمة الطاقة الداخلية باستخدام العلاقة عند معرفة الانثاليبا والضغط والحجم هي نفس القيمة التي حصلنا عليها من الجدول (1-3) .

مثال (5-2)

حدد درجة الحرارة والأنتروبيا للبخار المشبع الجاف عند ضغط 4Mpa .

الحل : -

طبقا للجدول(1-2) خواص التشبع للماء وبخار الماء :

دالة في الضغوط نجد أن :

درجة الحرارة $T=250.40\ C^{o}$

والانثالبيا $h\ x\ g=2801.4\ KJ/Kg$

مثال (5-3)

عند نفس الضغط في المثال السابق أوجد الانثالبيا (h) ، والأنتروبيا (S) والطاقة الداخلية (u) والحجم النوعي إذا كان الماء سائلا مشبعا .

الحل :-

الضغط (P=4MPa) طبقا للجدول (1-2)- خواص التشبع للماء : دالة في الضغوط نجد أن

$V_f=0.001252\ m^3/Kg$

$u_f = 1082.3\ KJ/Kg$

$h_f = 1087.3\ KJ/Kg$

$S_f= 6.0701\ KJ/Kg\ .\ K$

مثال (5-4)

حدد الحجم النوعي ، والطاقة الداخلية والانتروبيا للبخار الرطب عند درجة حرارة $200C^{o}$ وكسر الجفاف 0.7 .

الحل : -

طبقا للجدول (1-1) الخاص بخواص التشبع للماء وبخار الماء : دالة في درجات الحرارة نجد إن الضغط يساوي P=1.5538 Mpa ، عند ($t= 200C^{o}$)

ونجد أيضاً من الجدول القيم اللازمة الآتية ، (t =200c اعند)

$V_g=0.12736\ m^3/Kg$

$V_f=0.001157\ m^3/Kg$

أولاً : - الحجم النوعي للبخار الرطب يتمدد كما يلي :

$$V_{fg}=V_g - V_f=0.12736 - 0.001157$$

($V_{fg}=0.126203\ m^3/Kg$ التحول من السائل إلى البخار)

وباستخدام العلاقة التالية نحصل على قيمة الحجم النوعي للبخار الرطب (V) :

$$V=V_f = X \bullet V_{fg}$$

$$V=0.001157 = 0.7 \times (0.126202)$$

$$V=0.0894991\ m^3/ Kg$$

يرمز بالرمز (x) لكسر الجفاف .

ثانياً : الطاقة الداخلية للبخار الرطب (u) يتحدد أيضاً بالعلاقة التالية :

$$u = u_f + X \bullet u_{fg}$$

طبقا للجدول (1-1) نجد القيم اللازمة (t =200C°) :

$u_f = 850.65$ KJ/K g

$u_{fg} = 1744.7$ KJ/K g

بالتعويض نجد أن = 850.65 + 0.7 1744.7) x

$u = 2595.35$ KJ/Kg

ثالثاً : الانتروبيا للبخار الرطب (S) يتمدد أيضاً بالعلاقة التالية :

$$S = S_f + X \bullet S_{fg}$$

طبقا للجدول (1-1) نجد القيم اللازمة عند (t =200 $\overset{o}{c}$) :

$S_f = 2.3309$ KJ/Kg . K°

بالتعويض نجد أن : (4.1014) 0.7x + S=2.3309

S=5.201 KJ/Kg . K°

نلاحظ أن المثال السابق انه لتحديد مواصفات البخار الرطب مثل الحجم النوعي(v) والطاقة الداخلية (u) .

والانتروبيا (S) ، يتم إدخال مفهوم درجة(كسر) الجفاف الذي يرمز له بالرمز(X) والتي تمثل النسبة بين كتلة البخار (mg) إلى كتلة البخار الكلية ($m_g + m_f$) وتتراوح قيمتها بين الصفر والواحد .

مثال (5-5).

أوجد درجة الحرارة والحجم النوعي والانثالبيا والطاقة الداخلية لبخار مشبع جاف عند ضغط 9.8Mpa .

الحل :

بالرجوع إلى الجدول (1-2) . الخاص بخواص التشبع للمـــاء وبخـــار المـــاء : دالـــة للضغوط في إيجاد هذه القيم عند ضغط P= 9.8Mpa ، نلاحظ عدم وجود قيمة الضغـــــط

ولقد تمكننا من الحصول على هذه الخـــواص مباشـــرة ، وذلـــك بســـبب أن قيمـــة الضغـــط P=9.8Mpa تقع بين قيم الضغوط P=9Mpa و P=10Mpa والتي توجد خواصها فـــي الجدول .

لذلك للحصول على هذه الخواص مثل درجة الحرارة والحجم النوعـــي والأنثاليبـــا والطاقـــة الداخلية والطاقة الداخلية وغيرها عند الضغط p = 9.8 MPa

نقوم باستخدام طريقة الاستكمال (Interpolation) وهي طريقة تقريبية تستخدم فـــي مثـــل هذه الحالات .

وللحصول مثلاً على المطلوب الأول وهو درجة الحرارة عند الضغط (p = 9.8 Mpa) لبخار مشبع جاف باستخدام طريقة الاستكمال نجد أن :-

$$\frac{P9.8MPa - P9MPa}{P10MPa - P9MPa} = \frac{t9.8MPa - t9MPa}{t10MPa - t9MPa}$$

ومن هنا نجد درجة الحرارة عند ضغط (P = 9.8 Mpa) حيث :-

$$t9.8MPa = \frac{t10MPa - t9MPa \cdot P9.8MPa - P9MPa}{P10MPa - P9MPa + t9MPa}$$

بالرجوع إلى الجدول (1-2) وأخذ القيم الضرورية نستطيع الحصول على درجة الحرارة عنـد ضغط (P = 9.8 MPa) حيث وأيضاً من الجدول :-

$$t(P = 10MPa) = 311.06C^0$$

$$t(P = 9MPa) = 303.40C^0$$

بالتعويض عن هذه القيم في العلاقة السابقة نجد أن :-

$$t(9.8) = \frac{311.06 - 303.40 \cdot 9.8 - 9}{10 - 9 + 303.40}$$

$$t(9.8) = 7.66(0.8) + 303.40 = 309.52C^0$$

وهكذا استطعنا الحصول على قيمة درجة الحرارة $t = 309.52C^0$ عند قيمة الضغط $P = 9.8MPa$ باستخدام طريقة الاستكمال " التقريب" .

وبنفس الطريقة نستطيع الحصول على الخواص الأخرى مثل الحجم النوعي والأنثاليبـــا والطاقة الداخلية والأنتروبيا وغيرها ...