

KARBONDİOKSİT(R744) SOĞUTUCU AKIŞKANININ TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN ISO17584:2005 ULUSLAR ARASI STANDARTI GERÇEK GAZ HAL DENKLEMİ KULLANILARAK MODELLENMESİ

Halil ATALAY
M. Turhan ÇOBAN

ÖZET

Günümüzde çeşitli soğutucu akışkanlar (soğutkanlar) soğutma sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu soğutucu akışkanlardan biri olan Karbon dioksit (R744) soğutkanının termodinamik özellikleri Helmholtz hal denklemi tabanlı ve günümüzde uluslararası geçerliliğe sahip ISO17584:2005 gerçek gaz hal denklemi ile hesaplanabilmektedir. Karbon dioksit (R744) soğutucu akışkanının termodinamik özelliklerinin bu hal denklemi kullanılarak hesaplanmasını sağlayan model java programlama dili kullanılarak hazırlanmıştır. Bu modelde doyma termodinamik özellikleri kübik şerit interpolasyonu ile eğri uydurularak hesaplanmaktadır. Sıvı ve kızgın buhar bölgelerinde termodinamik özelliklerin hesaplanması ise bu hal denklemi kullanılarak yapılmaktadır. Bu çalışmada, ISO17584:2005 gerçek gaz hal denklemi, kübik şerit denklemleri ve modelleme detayları üzerinde durulacak ve bu hal denkleminde elde edilen veriler tablo değerleri ile karşılaştırılarak hata oranları değerlendirilecektir.

Anahtar Kelimeler: Soğutucu Akışkan, Karbon dioksit, R744, ISO17584:2005 (E), Termodinamik Özellikler, Gerçek Gaz Hal Denklemleri...

ABSTRACT

A variety of refrigerants are utilized in refrigeration systems. One of these refrigerants is R744's (carbon dioxide) thermodynamic properties can be calculated by using ISO17584:2005 Helmholtz real gas equation of state. A simulation model has been prepared by using java programming language. In this model saturation properties have been calculated through cubic spline curve fitting of the table values. Liquid and vapor regions have been calculated by using the equation of state. In this work, ISO17584:2005 Helmholtz real gas equation of state, cubic spline curve fitting equations and details of the model will be emphasized and data sets which are obtained from the equation of state is compared with table values and evaluating according to error rates.

Key Words: Refrigerant, Carbon dioxide, R744, Real Gas Equation of States, Thermodynamic Properties, ISO17584:2005(E)...

1. SOĞUTKAN ISO 17584:2005(E) HELMHOLTZ HAL DENKLEMİ

Uluslar arası standartlar enstitüsü (ISO) soğutkanların termodinamik özelliklerini hesaplayan çok çeşitli formüller olması nedeniyle ve bu özelliklerdeki değişmelerin uluslar arası ticareti etkileyebileceğini göz önüne alarak standart hal denklemleri yayınlamış ve mümkün olduğunca bu denklemlerin

kullanılmasını istemiştir. Standartta da belirtildiği gibi bu bitmemiş bir prosestir, tüm soğutkanları kapsamamaktadır, ancak durumun önemi nedeniyle bir başlangıç olarak 14 soğutkanın termodinamik özelliklerini veren veri ile birlikte denklemler bir standart olarak yayınlanmıştır. Standartta aşağıdaki soğutkanların verileri yer almıştır: R744(Karbondioksit), R717(Amonyak), R12 (diklorodiflorometan), R22 (klorodiflorometan), R32 (Diflorometan), R123 (2,2-dikloro, 1,1,1 trifloroetan), R125 (Pentafloroetan), R134a (1,1,1,2 tetrafloroethan), R143a(1,1,1,trifloroetan),R152a(1,1 difloroetan), R404A-R125/142a/134a(23/25/52), R407C-R32/125/134a(23/25/52), R410A-R32/125(50/50), R507A-r125/143A(50/50)

Standart temel hal denklemleri olarak Helmholtz serbest enerji denklemleri kullanmıştır. Bu denklemler saf soğutkanlar için:

$$\phi = \frac{A}{RT} = \phi_{id} + \phi_r \quad (1.1)$$

Denklemdaki “id” alt indisi ideal gaz “r” alt indisi gerçek gaz kısmını vermektedir.

$$\phi_r = \sum_k N_k / \tau^{t_k} \delta^{d_k} \exp[-\alpha_k (\delta - \varepsilon_k)^{l_k}] \exp[-\beta_k (\tau - \gamma_k)^{m_k}] \quad (1.2)$$

Buradaki

τ	Boyutsuz sıcaklık parametresi T^*/T
T^*	Normalizasyon faktörü genellikle kritik sıcaklığa eşittir
δ	Boyutsuz yoğunluk ρ/ρ^* ($1/(v \rho^*)$)
ρ^*	Normalizasyon faktörü genellikle kritik yoğunluğa eşittir
N_k	Eğri uydurma ile elde edilmiş ve özel soğutkan için belirlenmiş katsayılar
$\alpha_k, \beta_k, \varepsilon_k, \gamma_k$	Eğri uydurmalarla özel soğutkan için belirlenmiş çarpanlar
t_k, d_k, l_k, m_k	Eğri uydurmalarla özel soğutkan için belirlenmiş üst katsayılarıdır.

Bu denklemlerde yer alan katsayılar (Karbon dioksit soğutkanı için) tablo 1. 2’ de verilmiştir. Denklemin ideal gaz terimi:

$$\phi_{id} = \frac{h_{ref}}{RT} - \frac{s_{ref}}{R} - 1 + \ln\left(\frac{RT\rho}{P_{ref}}\right) + \frac{1}{RT} \int_{T_{ref}}^T C_{p,id} dT - \frac{1}{R} \int_{T_{ref}}^T \frac{C_{p,id}}{T} dT \quad (1.3)$$

Bu denklemden

h_{ref} : ideal gaz referans entalpisi (Genellikle 0 C de doymuş sıvı entropisi olarak 200 KJ/kg olarak seçilir)
 s_{ref} : ideal gaz referans entropisi (Genellikle 0 C de doymuş sıvı entropisi olarak 1 kJ/kg K olarak seçilir)
 h_{ref} genellikle 0 C de doymuş sıvı entalpisi olarak 200 kJ/kg K olarak seçilir. Ancak değişik referanslarda aynı entalpi, entropi değerlerini verme şartıyla seçilebilir. Denklem aynı zamanda ideal gaz sabit hacimde ısı kapasitesinin bilinmesini gerektirmektedir. Bu ısı kapasitesi:

$$\frac{C_{p,id}}{R} = c_0 + \sum_k c_k T^{t_k} + \sum_k a_k \frac{u_k^2 \exp(u_k)}{[\exp(u_k) - 1]^2} \quad (1.4)$$

Buradaki

$u_k = \frac{b_k}{T}$, c_k , a_k ve t_k soğutkana eğri uydurma ile elde edilen katsayılarıdır.

Bazı denklemler için ideal gaz ek Helmholtz serbest enerji komponenti:

$$\phi_{id} = f_1 + \frac{f_2}{T} + \ln(\rho) + (1 - C_0) \ln(T) - \sum_k C_k \left(\frac{1}{t_k + 1} \right) \left(\frac{1}{t_k} \right) T^{t_k} + \sum_k a_k \ln \left(1 - \exp\left(\frac{b_k}{T} \right) \right) \quad (1.5)$$

ifade edilebilir.

Burada $f_1, f_2, C_0, C_k, a_k, b_k, t_k$ katsayılarıdır.

Karbon dioksit soğutkanı için ideal gaz kısmının hesaplanmasında “Eşitlik 1. 5” kullanılmıştır. Bu eşitlikte yer alan katsayılar Tablo 1.1’de verilmiştir.

Karbon dioksit soğutkanı için Helmholtz serbest enerji denkleminin üçüncü bir terim daha ekleyebiliriz.

$$\phi = \frac{A}{RT} = \phi_{id} + \phi_r + \phi_{crit} \quad (1.1a)$$

$$\phi_{crit} = \sum_k N_k \delta \Delta^{b_k} \Psi \quad (1.6)$$

Burada

$$\Delta = \theta^2 + B_k [(\delta - 1)^2]^{a_k} \quad (1.7)$$

$$\theta = (1 - \tau) + A_k [(\delta - 1)^2]^{1/(2\beta_k)} \quad (1.8)$$

$$\Psi = \exp[-C_k (\delta - 1)^2 - D_k (\tau - 1)^2] \quad (1.9)$$

Denklemdaki $N_k, A_k, B_k, C_k, D_k, \alpha_k, \beta_k$ terimleri soğutkan için eğri uydurma ile elde edilmiş terimlerdir. Eşitlik 1.6, 1.7, 1.8 ve 1.9’ da yer alan katsayılar Tablo 1.3’de verilmiştir.

Alternatif olarak Benedict-Webb-Rubin denklemi Hal denklemi olarak verilmişse, bu hal denklemi de Gibbs serbest enerji hal denkleminin dönüştürülebilir.

$$P = \sum_{k=1}^9 a_k \rho^k + \exp(-\rho^2 / \rho_{crit}^2) \sum_{k=10}^{15} a_k \rho^{2k-17} \quad (1.10)$$

Denklemda a_k eğri uydurma ile elde edilmiş katsayılarıdır. Daha önce verilen Helmholtz serbest enerji denklemini göz önüne alacak olursak:

$$P = - \left(\frac{\partial A}{\partial V} \right)_T \quad (1.10a)$$

$$\phi_r = \frac{A_r(T, \rho)}{RT} = - \int_V \left(\frac{P}{RT} - \rho \right) dV \quad (1.11)$$

olarak ifade edilebilir. Bu denklem ideal gaz Helmholtz serbest enerji denkleminin birlikte kullanılarak Gerçek hal denklemi elde edilir.

Soğutkan Helmholtz serbest enerji denkleminin elde edildikten sonra türevleri kullanılarak değişik termodinamik özellikler türetilir.

$$P = RT\rho \left(1 + \delta \frac{\partial \phi_r}{\partial \delta} \right) \quad (1.12)$$

$$u = RT \left(\tau \frac{\partial \phi_{id}}{\partial \tau} + \tau \frac{\partial \phi_r}{\partial \tau} \right) \quad (1.13)$$

$$h = RT \left(1 + \tau \frac{\partial \phi_{id}}{\partial \tau} + \tau \frac{\partial \phi_r}{\partial \tau} + \delta \frac{\partial \phi_r}{\partial \delta} \right) \quad (1.14)$$

$$s = R \left(-(\phi_{id} + \phi_r) + \tau \frac{\partial \phi_{id}}{\partial \tau} + \tau \frac{\partial \phi_r}{\partial \tau} \right) \quad (1.15)$$

$$g = RT \left(1 + \phi_{id} + \phi_r + \delta \frac{\partial \phi_r}{\partial \delta} \right) \quad (1.16)$$

$$C_v = R \left(-\tau^2 \frac{\partial^2 \phi_{id}}{\partial \tau^2} - \tau^2 \frac{\partial^2 \phi_r}{\partial \tau^2} \right) \quad (1.17)$$

$$C_p = C_v + R \frac{\left(1 + \delta \frac{\partial \phi_r}{\partial \delta} - \delta \tau^2 \frac{\partial^2 \phi_r}{\partial \tau \partial \delta} \right)}{1 + 2\delta \frac{\partial \phi_r}{\partial \delta} + \delta^2 \frac{\partial^2 \phi_r}{\partial \delta^2}} \quad (1.18)$$

Doyma bölgesi denklemleri hal denkleminde

$$P(\tau, \delta_{siv}) = P(\tau, \delta_{gaz}) \quad (1.19)$$

$$g(\tau, \delta_{siv}) = g(\tau, \delta_{gaz}) \quad (1.20)$$

Denklemleri kullanarak da elde edilebilir.

Saf gaz katsayılarına örnek değerler olarak karbon dioksit(R744) soğutkanına ait katsayılar Tablo 1.1-1.2 de verilmiştir.

Tablo 1.1. Karbondioksit(R744) Soğutkanı İçin İdeal Gaz Denklemi Katsayıları(Eşitlik 1.5) [7]

k	a _k	b _k	c _k
0	0	0	3,5
1	1,994 270 42	958,499 56	0
2	0,621 052 475	1858,801 15	0
3	0,411 952 928	2061,101 14	0
4	1,040 289 22	3443,899 08	0
5	0,083 276 775 3	8238,200 35	0

Tablo 1.2. Karbondioksit(R744) Soğutkanı İçin Gerçek Gaz Denklemi Katsayıları(Eşitlik 1.2) [7]

k	N_k	t_k	d_k	l_k	α_k	m_k	β_k	Y_k	ξ_k
1	0,388 568 232 032	0	1	0	0	0	0	0	0
2	2,93 854 759 427	0,75	1	0	0	0	0	0	0
3	-5,586 718 853 49	1	1	0	0	0	0	0	0
4	-0,767 531 995 925	2	1	0	0	0	0	0	0
5	0,317 290 055 804	0,75	2	0	0	0	0	0	0
6	0,548 033 158 978	2	2	0	0	0	0	0	0
7	0,122 794 112 203	0,75	3	0	0	0	0	0	0
8	2,165 896 154 32	1,5	1	1	1	0	0	0	0
9	1,584 173 510 97	1,5	2	1	1	0	0	0	0
10	-0,231 327 054 055	2,5	4	1	1	0	0	0	0
11	0,058 116 916 431 4	0	5	1	1	0	0	0	0
12	-0,553 691 372 054	1,5	5	1	1	0	0	0	0
13	0,489 466 159 094	2	5	1	1	0	0	0	0
14	-0,024 275 739 843 5	0	6	1	1	0	0	0	0
15	0,062 494 790 501 7	1	6	1	1	0	0	0	0
16	-0,121 758 602 252	2	6	1	1	0	0	0	0
17	-0,370 556 852 701	3	1	2	1	0	0	0	0
18	-0,016 775 879 700 4	6	1	2	1	0	0	0	0
19	-0,119 607 366 380	3	4	2	1	0	0	0	0
20	-0,045 619 362 508 8	6	4	2	1	0	0	0	0
21	-0,035 612 789 270 3	8	4	2	1	0	0	0	0
22	-0,744 277 271 321E-02	6	7	2	1	0	0	0	0
23	-0,173 957 049 024E-02	0	8	2	1	0	0	0	0
24	-0,218 101 212 895E-01	7	2	3	1	0	0	0	0
25	0,243 321 665 592E-01	12	3	3	1	0	0	0	0
26	-0,374 401 334 235E-01	16	3	3	1	0	0	0	0
27	0,143 387 157 569	22	5	4	1	0	0	0	0
28	-0,134 919 690 833	24	5	4	1	0	0	0	0
29	-0,231 512 250 535E-01	16	6	4	1	0	0	0	0
30	0,123 631 254 929E-01	24	7	4	1	0	0	0	0
31	0,210 583 219 729E-02	8	8	4	1	0	0	0	0
32	-0,339 585 190 264E-03	2	10	4	1	0	0	0	0
33	0,559 936 517 716E-02	28	4	5	1	0	0	0	0
34	-0,303 351 180 556E-03	14	8	6	1	0	0	0	0
35	-0,213 654 886 883E+03	1	2	2	25	2	325	1,16	1
36	0,266 415 691 493E+05	0	2	2	25	2	300	1,19	1
37	-0,240 272 122 046E+05	1	2	2	25	2	300	1,19	1
38	-0,283 416 034 240E+03	3	3	2	15	2	275	1,25	1
39	0,212 472 844 002E+03	3	3	2	20	2	275	1,22	1

Tablo 1.3. Karbon dioksit (R744) Soğutkanı İçin Kritik Bölge Terimlerindeki Katsayılar (Eşitlik 1.6-1.9) [7]

k	N _k	a _k	b _k	β _k	A _k	B _k	C _k	D _k
40	-0,666 422 765 408	3,5	0,875	0,3	0,7	0,3	10	275
41	0,726 086 323 499	3,5	0,925	0,3	0,7	0,3	10	275
42	0,055 068 668 6128	3	0,875	0,3	0,7	1	12,5	275

R744 Normalizasyon faktörleri:

$$T^*=304,1282 \text{ K}, \rho^*=10,6249063 \text{ mol/l}, M=44,0098 \text{ g/mol}, R=8,31451 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$$

R744 Referans parametreleri:

$$T_{\text{ref}}=273,15 \text{ K}, p_{\text{ref}}=1,0 \text{ kPa}, h_{\text{ref}}=21389,328 \text{ J/mol}, s_{\text{ref}}=155,7414 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}, f_1=5,80555135, f_2=1555,79710$$

2. DOYMA BÖLGESİNİN HESAPLANMASI

Doyma bölgesinin termodinamik özelliklerinin hesaplanmasında verilerden direk olarak kübik şerit eğri uydurma metoduyla eğri formuna dönüştürülmesi yöntemi kullanılmıştır. Kübik şerit interpolasyon polinomu;

$$s_k(x)=a_k(x-x_k)+b_k(x_{k+1}-x)+[(x-x_k)^3 c_{k+1}+(x_{k+1}-x)^3 c_k]/(6h_k) \quad 1 \leq k \leq n \quad (2.1)$$

şeklinde verilmiş ise türev denklemleri:

$$s'_k(x)=a_k-b_k+[(x-x_k)^2 c_{k+1}-(x_{k+1}-x)^2 c_k]/(2h_k) \quad 1 \leq k \leq n \quad (2.2)$$

$$s''_k(x)=[(x-x_k) c_{k+1}+(x_{k+1}-x) c_k]/h_k \quad 1 \leq k \leq n \quad (2.3)$$

olur burada a_k ve b_k c_k 'nın fonksiyonu olarak yazılabilir.

$$b_k=[6y_k-h_k c_k]/(6h_k), \quad 1 \leq k \leq n \quad (2.4)$$

$$a_k=[6y_{k+1}-h_k^2 c_{k+1}]/(6h_k), \quad 1 \leq k \leq n \quad (2.5)$$

Bu durumda çözülmesi gereken denklem sistemi sadece c_k terimlerine dönüşür.

$$h_{k-1}c_{k-1}+2(h_{k-1}-h_k)c_k+h_k c_{k+1}=6\left[\frac{y_{k+1}-y_k}{h_k}-\frac{y_k-y_{k-1}}{h_{k-1}}\right] \quad 1 \leq k \leq n \quad (2.6)$$

bu sistemde toplam n-2 denklem mevcuttur.

$$w_k=\frac{y_{k+1}-y_k}{h_k}, \quad 1 \leq k \leq n \quad (2.7)$$

tanımını yaparsak çözülecek denklem sistemini

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ h_1 & 2(h_1+h_2) & h_2 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & h_2 & 2(h_2+h_3) & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 2(h_{n-3}+h_{n-2}) & h_{n-2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & h_{n-2} & 2(h_{n-2}+h_{n-1}) & h_{n-1} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ \dots \\ c_{n-2} \\ c_{n-1} \\ c_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \\ 6(w_2 - w_1) \\ 6(w_3 - w_2) \\ \dots \\ 6(w_{n-2} - w_{n-3}) \\ 6(w_{n-1} - w_{n-2}) \\ B \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

şeklini alır. Burada A ve B kullanıcı tarafından verilmesi gereken ikinci türev sınır şartlarıdır. Bu denklem sistemi, tablo verileri için çözüldüğünde hata oldukça küçük olduğundan pratik bir sistem oluşturur. [3]

3. TERMODİNAMİK VERİLERİN HAL DENKLEMİ VE BİLİNER TERMODİNAMİK ÇİFT KULLANILARAK TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİN HESAPLANMASI

Bölüm 1 deki denklemlerden de görüleceği gibi hal denklemi $\phi(v, T)$ formunda verilmiştir. Denklem özgül hacim(v) ve sıcaklık(T) verildiğinde Helmholtz serbest enerjisini (ϕ) değerini hesaplar. Bu değer türevlerini kullanarak da $P(v, T), h(v, T), s(v, T), g(v, T)$ diğer termodinamik değişkenleri hesaplar. Bu denklemden türettiğimiz tüm diğer basınç, entalpi, iç enerji, entropi, gibbs serbest enerjisi gibi termodinamik özellikler de aynı şekilde $X(v, T)$ formundadır. Termodinamik ve ısı transferi hesapları yapılırken bilinen termodinamik çift değişebilir. Hal denklemi $\phi(v, T)$ olarak verildiğinden diğer durumların çözümü kök bulma yöntemlerinin kullanılmasını gerektirir. Örneğin $v(P_i, T_i)$ değerini bulmak istersek $F(v, T_i, P_i) = P(v, T_i) - P_i = 0$ denklemini çözmemiz gerekir. Buradaki T_i ve P_i verilmiş olan termodinamik değerler olup v değeri bilinmemektedir. Bu denklemin çözülmesinde kök bulma yöntemleri kullanılabilir, Örneğin Newton-Raphson yöntemi:

$$v_n = v_{n-1} + \frac{F(v, T_i, P_i)}{\left(\frac{\partial F(v, T_i, P_i)}{\partial v}\right)} \quad (3.1)$$

İteratif formülünü kullanarak köke ulaşır. Bu denklemi kullanmak için v değerinin ilk tahmin değerinin bilinmesi gereklidir. İlk tahmin değerinin saptanması faz değiştirme bölgesinin de göz önünde bulundurulmasını gerektirir. Ayrıca her kök bulma yöntemi her zaman dönüşüm vermeyebilir, bu yüzden hesaplamalarda birden fazla yöntem birlikte kullanılmıştır. Bu tür hesaplama yöntemleri her termodinamik değişken çifti için ayrı ayrı göz önünde bulundularak çözülür.

4. BİLGİSAYAR PROGRAMININ TANIMLANMASI

Çeşitli soğutkanlar için ISO 17584 standardı hal denklemlerini kullanan refISO17584.java programı java dilinde geliştirilmiştir. Bu program doyma termodinamik özelliklerinin hesaplanmasında kübik şerit interpolasyon formüllerini kullanmaktadır. Termodinamik bilimine göre denge halindeki bir akışkanın termodinamik özelliklerini hesaplamak için 2 adet bilinen değişken gerekir. Bizim modelimizde bilinen değişken setleri;

tx: sıcaklık-doymuş karışım kurulum derecesi
tp veya pt: sıcaklık – basınç

tv veya vt: sıcaklık – özgül hacim

th: sıcaklık – entalpi

tu: sıcaklık – iç enerji

ts: sıcaklık – entropi

pv veya vp: basınç –özgül hacim

ph: basınç – entalpi

pu: basınç – iç enerji

ps: basınç – entropi

px: basınç - doymuş karışım kuruluk derecesi

gibi değişkenler üzerinden hesaplanabilir. Programlar isteyen kullanıcılar tarafından kendi programlarında çağrılarak kullanılabilirler. Programlar java programlama dilinde yazıldığından bir java programında, örnek olarak sıcaklık-basınç verileri bilinen termodinamik değişkenler cinsinden:

```
refISO17584 st=new refISO17584("R744");
double sıcaklık=-10,0;
double basınç=2648,6;
double a[]=st. property("tp",sıcaklık, basınç);
```

şeklinde çağrılabilir. Sonuçlar a boyutlu değişkenine

a[0] P basınç KPa

a[1] t sıcaklık C

a[2] v özgül hacim m³/kg

a[3] h entalpi KJ/kg

a[4] u iç enerji KJ/kg

a[5] s entropi KJ/kgK

a[6] x kuruluk derecesi kg vapor/kg total phase

a[7] ro yoğunluk kg/m³

şeklinde yüklenir. Kendi programlarını yazmadan sadece termodinamik değerleri kullanmak isteyen kullanıcılarımız için refISO17584Table.java programında bir kullanıcı ara yüzü geliştirilmiştir. Bu ara yüz çıktısı Şekil 1 de görülmektedir.

birim	SI	
Soğutkan ismi	R744	R744
bilinen değişken çiftini seçiniz:	tp	tp
Sıcaklık	-10.0	derece C
Basınç	2648.6	kPa
Dr. Turhan Çoban, Halil Atalay Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği bölümü eposta : turhan.coban@ege.edu.tr ISO 17584 standardı helmholtz serbest enerjisi hal denklemi kullanılmıştır		
P, pressure	2648.6	kpa
T, temperature	-10.0	deg C
v, specific volume	0.014048554804879002	m ³ /kg
h, enthalpy	435.1362289252781	KJ/kg
u, internal energy	397.92722666919383	KJ/kg
s, entropy	1.8984915934845712	KJ/kg
x, quality	2.0	kg vapor/kg mix
density	71.18169903517082	kg/m ³
phase	kızgın buhar	

Şekil 1. refISO17584Table.java Programı Ara Yüz Çıktısı

SONUÇLAR

Günümüzde ısı analizler ve hesaplamalar bilgisayar ortamında yapılmaktadır. Bu ortamı daha verimli kılabilme ve mühendislik dizaynlarını daha optimum olarak oluşturabilmek için temel termodinamik ve termo fiziksel özelliklerin kolaylıkla hesaplanabilir olması elzemdir.

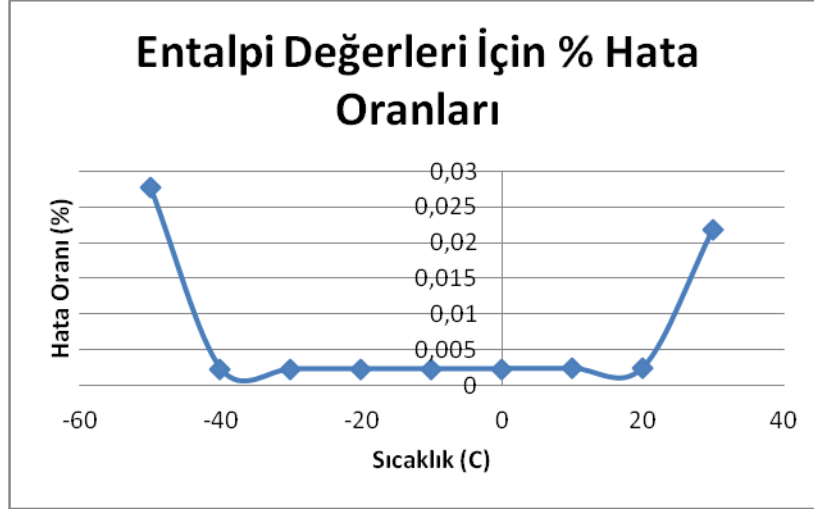
Gerçekleştirilen bu çalışmadan elde edilen veriler uluslar arası geçerliliğe sahip tablo verileri ile karşılaştırılmış ve bu karşılaştırma entalpi ve entropi değerleri için sırasıyla aşağıda yer alan Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir. Buna ilave olarak bu karşılaştırmadan elde edilen hata oranları entalpi ve entropi değerleri için Şekil 2 ve Şekil 3'te verilen grafikler ile gösterilmektedir. Bu grafiklerde de görüldüğü gibi elde edilen sonuçlar tablo verilerine çok yakındır ve hata oranları çok düşüktür.

Tablo 3. Entalpi Değerleri İçin Karşılaştırma [17]:

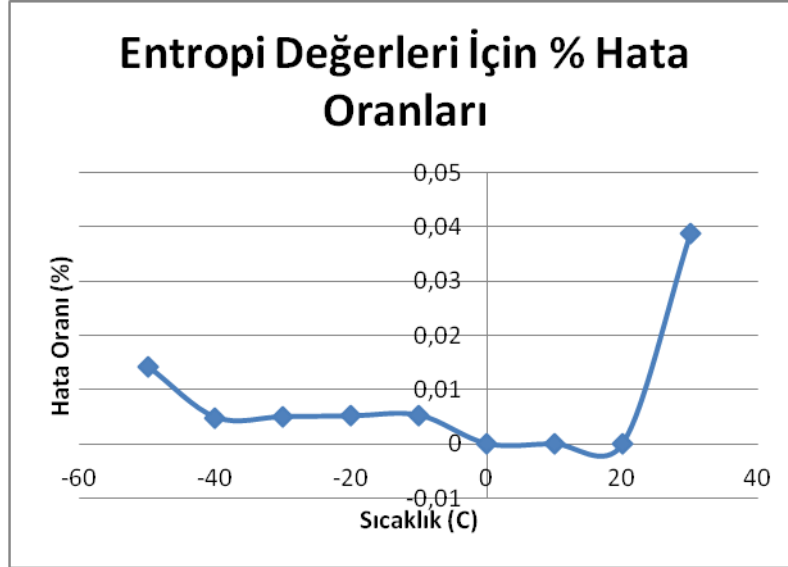
T(C)	P(kPa)	Gerçek Tablo Değerleri (kJ/kg)	ISO17584 Model Tahmin Değerleri(kJ/kg)	Hata Oranı(%)
-50	553	432,68	432,56	0,027734
-40	1004	435,32	435,33	0,002297
-30	1427	436,82	436,83	0,002289
-20	1969	436,89	436,9	0,002289
-10	2648	435,14	435,15	0,002298
0	3485	430,89	430,9	0,002321
10	4502	422,88	422,89	0,002365
20	5729	407,87	407,86	0,002452
30	7212	365,13	365,21	0,021905

Tablo 4. Entropi Değerleri İçin Karşılaştırma[17] :

T(C)	P(kPa)	Gerçek Tablo Değerleri (kJ/kg.K)	ISO17584 Model Tahmin Değerleri(kJ/kg.K)	Hata Oranı(%)
-50	553	2,1018	2,1015	0,014273
-40	1004	2,0485	2,0486	0,004881
-30	1427	1,998	1,9981	0,005005
-20	1969	1,9485	1,9486	0,005132
-10	2648	1,8985	1,8986	0,005267
0	3485	1,8453	1,8453	0
10	4502	1,7847	1,7847	0
20	5729	1,7062	1,7062	0
30	7212	1,5433	1,5439	0,038863



Şekil 2. Karbondioksit Entalpi Değerlerine Göre % Hata Oranı Dağılımı



Şekil 3. Karbondioksit Entropi Değerlerine Göre % Hata Oranı Dağılımı

Ayrıca, bu çalışmamız açık kaynak kodu olarak geliştirdiğimiz ve oldukça geniş bir soğutkan gurubunun termodinamik özelliklerini hesapladığımız ve tüm araştırmacılara açık kaynak kodu olarak sunmayı planladığımız bir çalışmanın parçasıdır.

KAYNAKLAR

- [1] ÇOBAN, M. Turhan, ATALAY, Halil, "Soğutkan karışımlarının termodinamik özelliklerinin Peng-Robinson-Stryjek-Vera gerçek gaz denklemi kullanılarak modellenmesi", X. Ulusal Tesilat Mühendisliği Kongresi, 13-16 Nisan 2011, İzmir
- [2] ÇOBAN, M. Turhan, "Gerçek gazların termodinamik ve termo fiziksel özelliklerinin Lee-Kesler hal denklemi kullanılarak modellenmesi", 17. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 24-27 Haziran 2009, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas

- [3] ÇOBAN, M. Turhan, "İdeal gazların termodinamik ve termo fiziksel özelliklerinin modellenmesi", 17. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 24-27 Haziran 2009, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas
- [4] ÇOBAN, M. Turhan, "Kısmi devamlı fonksiyonlar kullanarak soğutucu akışkanların doyma basınç eğrilerinin hassas olarak oluşturulması", I Soğutma Teknolojileri Sempozyumu bildiri kitabı, 6-12 Ekim 2008, ISBN : 978-605-5771-00-3
- [5] ÇOBAN, M. Turhan, "Küçük şerit ve B şerit interpolasyon yöntemi kullanarak soğutucu akışkanların doyma termo fiziksel özelliklerinin hassas olarak oluşturulması", I. Soğutma Teknolojileri Sempozyumu bildiri kitabı, 6-12 Ekim 2008, ISBN : 978-605-5771-00-3
- [6] ÇOBAN, M. Turhan, Sayısal Metodların Soğutma Dünyasına uygulanması :Soğutucu akışkanların termodinamik özellikleri, Martin-Hou hal denklemi. Soğutma Dünyası ISSN 1304-1908
- [7] International Standard ISO 17584 Refrigerant Properties, Reference Number: ISO 17584:2005(E)
- [8] KAMEI, A., BEYERLEIN, S.W. and JACOBSEN, R.T., Application of nonlinear regression in the development of a wide range formulation for HCFC-22. Int. J. Thermo physics, 16(1995), pp. 1155-1164
- [9] LEMMON, E.W. and JACOBSEN, R.T., A new functional form and new fitting techniques for equations of state with application to pentafluoroethane (HFC-125), J. Phys. Chem. Ref. Data
- [10] LEMMON, E.W. and JACOBSEN, R.T., An international standard formulation for the thermodynamic properties of 1,1,1-trifluoroethane (HFC-143a) for temperatures from 161 to 500 K and pressures to 50 MPa. J. Phys. Chem. Ref. Data, 29(2001), pp. 521-552
- [11] LEMMON, E.W. and JACOBSEN, R.T., Equations of state for mixtures of R-32, R-125, R-134a, R-143a, and R-152a, J. Phys. Chem. Ref. Data (in press)
- [12] LEMMON, E.W., MCLINDEN, M.O. and HUBER, M.L, NIST Standard Reference Database 23, NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP, version 7.0. Standard Reference Data Program, National Institute of Standards and Technology (2002)
- [13] MARX, V., PRUß, A. and WAGNER, W., Neue Zustandsgleichungen für R 12, R 22, R 11 und R 113, Beschreibung des thermodynamischen Zustandsverhaltens bei Temperaturen bis 525 K und Drücken bis 200 MPa, VDI-Fortschritt-Ber. Series, 19(1992), No. 57, Düsseldorf: VDI Verlag
- [14] MCLINDEN, M.O. and WATANABE, K., International collaboration on the thermophysical properties of alternative refrigerants, Results of IEA Annex 18. 20th International Congress of Refrigeration, Sydney, Australia, September 19-24, 1999, International Institute of Refrigeration, pp 678-687
- [15] OUTCALT, S.L. and MCLINDEN, M.O., A modified Benedict–Webb–Rubin equation of state for thermodynamic properties of R152a (1,1–difluoroethane), J. Phys. Chem. Ref. Data, 25(1996), pp. 605 – 636
- [16] SPAN, R. and WAGNER, W., A new equation of state for carbon dioxide covering the fluid region from the triple–point temperature to 1 100 K at pressures up to 800 MPa, J. Phys. Chem. Ref. Data, 26(1996), pp. 1509-1596
- [17] STEWART Richard B., JACOBSEN, Richard T., PENONCELLO, Steven G. ASHRAE Thermodynamic Properties of Refrigerants
- [18] TILLNER-ROTH, R. and BAEHR, H.D., An international standard formulation of the thermodynamic properties of 1,1,1,2-tetrafluoroethane (HFC-134a) covering temperatures from 170 K to 455 K at pressures up to 70 MPa, J. Phys. Chem. Ref. Data, 23(1994), pp. 657-729
- [19] TILLNER-ROTH, R., HARMS–WATZENBERG, F. and BAEHR, H.D., Eine neue Fundamentalgleichung für Ammoniak, DKV-Tagungsbericht 20, II(1993), pp. 167-181
- [20] TILLNER-ROTH, R., LI, J., YOKOZEKI, A., SATO, H. and WATANABE, K., Thermodynamic Properties of Pure and Blended Hydrofluorocarbon (HFC) Refrigerants, Tokyo: Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers, (1998)
- [21] TILLNER-ROTH, R. and YOKOZEKI, A., An international standard equation of state for difluoromethane (R-32) for temperatures from the triple point at 136.34 K to 435 K and pressures up to 70 MPa, J. Phys.Chem. Ref. Data, 26(1997), pp. 1273-1328
- [22] YOUNGLOVE, B.A. and MCLINDEN, M.O., An international standard equation-of-state formulation of the thermodynamic properties of refrigerant 123 (2,2-dichloro-1,1,1-trifluoroethane), J. Phys. Chem. Ref.Data, 23(1994), pp.

ÖZGEÇMİŞ

Halil ATALAY

1984 yılı, Gemlik doğumludur. 2006 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi, Uşak kampüsü Makine Mühendisliği bölümünden bölüm 1. fakülte 2. olarak mezun olmuş, 2011 yılında ise EGE Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümü Enerji A.B.D.'da MSc. Eğitimini tamamlamıştır. Şu anda Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Öğretim Görevlisi olarak görev yapmakta olup Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Isı-Proses A.B.D.'da doktora eğitimine devam etmektedir. Aynı zamanda, Ar-Ge Proje Uzmanlığı görevini sürdürmektedir.

Mustafa Turhan ÇOBAN

1957 yılı seven, Bolu doğumludur. 1978 yılında Ege Üniversitesi Makine Fakültesi, Makine bölümünü bitirmiş, 1982 Yılında Michigan Teknik Üniversitesi (A.B.D.) Makine Mühendisliği ve Mühendislik Mekaniği bölümünden Yüksek lisans derecesi, 1986 Yılında Utah Üniversitesi (A.B.D.), Mühendislik fakültesi, makine mühendisliği bölümünden Doktora derecesi, 1995 Yılında Victoria Teknik Üniversitesi (Avustralya), Matematik Fakültesi, bilgisayar bölümünden Bilgisayar Mühendisliği Yüksek lisans derecesi almıştır. ARAS kompresör, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Jeotermal bölümü, Imperial Chemical Industries (Avustralya), Ceramic Fuel Cells Limited (Avustralya), TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü, TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsünde, Utah Üniversitesi (ABD) Makine mühendisliği, Ballarat Üniversitesi Mühendislik bölümü (Avustralya), Victoria Teknik Üniversitesi, makine mühendisliği bölümü (Avustralya), Nebraska Üniversitesi, makine mühendisliği bölümü(A.B.D.), Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi makine mühendisliği bölümlerinde çalışmıştır, Halen Ege Üniversitesi Makine Mühendisliğinde enerji konularında çalışmaktadır