

R123 SOĞUTUCU AKIŞKANININ TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN MODİFİED BENEDİCT WEBB RUBİN (MBWR) GERÇEK GAZ DENKLEMİ KULLANILARAK HESAPLANMASI

M. Turhan ÇOBAN , Halil ATALAY
Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliđi Bölümü , Bornova / İzmir
Telefon: (2323115387)
turhan.coban@ege.edu.tr , halilatalay16@gmail.com

Özet:

Kimyasal adı dichlorotrifluoroethane (CHCl_2CF_3) olan R123 soğutucu akıŐkanını, santrifüj soğutucu ünitelerde kullanılan ve R11'e en uygun olan alternatif soğutucu akıŐkandır. Fakat, R11 soğutucu akıŐkanına göre daha düşük enerji verimine sahiptir. Ayrıca, zehirleyici özelliği nedeniyle kullanıldığı ortamda ek tedbirler alınması gerekmektedir .

R123 soğutucu akışkanının sıcaklık, basınç, entalpi, özgül hacim, yoğunluk, iç enerji, entropi gibi termodinamik özellikleri Modified Benedict Webb Rubin (MBWR) gerçek gaz hal denklemi kullanılarak hesaplanmaktadır ve bu denklem esas alınarak Java Programlama Dili'nde bir model geliştirilmiştir. Bu modelde doyma termodinamik özellikler kübik Şerit interpolasyonu ile hesaplanmakta , sıvı ve kızgın buhar bölgeleri ise Modified Benedict Webb Rubin (MBWR) hal denklemi ile bulunmaktadır. Bu çalışmada Modified Benedict Webb Rubin (MBWR) hal denklemi, kübik Şerit denklemi ve modelleme detayları hakkında bilgi verilecektir.

Anahtar Kelimeler

R123 , Modified Benedict Webb Rubin Hal Denklemi, Soğutucu Akışkanlar, Gerçek Gaz Denklemleri, Termodinamik Özellikler...

Abstract

R123 refrigerant's chemical name is dichlorotrifluoroethane (CHCl_2CF_3) which use of refrigerant. But, it has got lower energy according to R11 refrigerant. Besides, because of its poisonous property , additional cares have to be taken to use of where.

Modified Benedict Webb Rubin(MBWR) Equation Of State is devoloped to calculate thermodynamic properties such as temperature, pressure, specific volume, density , enthalphy, interior energy, entrophy of R123 refrigerant's. A simulation model is prepared by using Java Programming Language. In this model saturation properties are calculated through cubic spline curve fitting of table values. Liquid and vapor regions are calculated by using MBWR equation of state. Details of all this models will be presented in this work .

Key Words

R123, Regrigerants, Modified Benedict Webb Rubin Equaiton Of State , Real Gas Equation Of States, Thermodynamic Properties

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji sistemlerinin en temel özellikleri olan gazların termodinamik ve termo-fiziksel özelliklerinin bilgisayar sistemleri kullanılarak hesaplanması mümkün olmaktadır. Bu özelliklerin bilgisayar ortamında hesaplanması için temel gaz denklemlerini ve kullanımlarını, bilgisayar ortamına aktarma yöntemlerini doğru bir şekilde oluşturmak gerekmektedir. Bu bildiride, R123 soğutucu akışkanının termodinamik ve termo-fiziksel özelliklerini hesaplamada kullanılan Modified-Benedict-Webb-Rubin (MBWR) denkleminin bilgisayar ortamında nasıl hesaplandığı üzerinde durulacak ve java programlama dili ile geliştirdiğimiz “refrigerant.java” programında R123 soğutucu akışkanının nasıl hesaplandığına yönelik örnek bir çalışma gösterilecektir.

2. MODIFIED BENEDICT-WEBB-RUBIN (MBWR) DENKLEMİ :

Gerçek gaz denklemleri içerisinde en çok bilinenlerinden birisi olan ve 1940 yılında yayınlanan Benedict Webb Rubin (MBWR) soğutucu akışkanların hesaplanmasında kullanılan gerçek gaz hal denklemdir. Oldukça iyi sonuçlar veren bu denklem çeşitli uygulamalarda daha iyi sonuçlar alabilmek için değişimlere uğratılmıştır. Bu değişik formlarının en yaygın kullanılanı tüm kimyasalların genel modellemesinin yapıldığı Lee - Kesler denklemdir. Ayrıca Modified Benedict Webb Rubin Hal Denklemi (MBWR) soğutucu akışkanların termodinamik özelliklerinin belirlenmesi için de sıkça kullanılmaktadır. Bu denklem değiştirilmiş formunda soğutucu akışkanların gaz ve sıvı fazları için geçerli bir denklemdir . Geliştirdiğimiz refrigerant.java programında R123, R134a, R124, R125, R50, R702, R720, R732, R740, R1150, R1270 soğutucu akışkanları MBWR hal denklemi ile hesaplanmaktadır. Bu bildiride, MBWR denkleminin tanımı ve termodinamik özelliklerinin hesaplanması işlevinin detaylarını vereceğiz. Bu detayları verirken R123 (2, 2 dichloro -1, 1, 1-trifluoroethane) soğutucu akışkanının katsayıları kullanılacaktır.

Soğutucu akışkanlar için MBWR denklemi

$$P = \sum_{k=1}^9 \frac{a_k}{V^k} \exp(-Vc^2 / V^2) \sum_{k=10}^{15} \frac{a_k}{V^{2k-17}} \quad (1)$$

Denklemdaki sıcaklığa bağımlı a_k katsayıları ise Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1 Denklem (1) MBWR

k	a_k
1	$R \cdot T$
2	$a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^{0.5} + a_3 + a_4 / T + a_5 / T^2$
3	$a_6 \cdot T + a_7 + a_8 / T + a_9 / T^2$
4	$a_{10} \cdot T + a_{11} + a_{12} / T$
5	a_{13}
6	$a_{14} / T + a_{15} / T^2$
7	a_{16} / T
8	$a_{17} / T + a_{18} / T^2$
9	a_{19} / T^2
10	$a_{20} / T^2 + a_{21} / T^3$
11	$a_{22} / T^2 + a_{23} / T^4$
12	$a_{24} / T^2 + a_{25} / T^3$
13	$a_{26} / T^2 + a_{27} / T^4$
14	$a_{28} / T^2 + a_{29} / T^3$
15	$a_{30} / T^2 + a_{31} / T^3 + a_{32} / T^4$

Bağıntılarıyla verilmiştir.

burada T derece K = °C + 273.15 cinsinden sıcaklık, V m³ / mole

(= m³/kg *Molekül ağırlığı) cinsinden özgül hacim, Vc m³ / kg kritik hacim, P kPa cinsinden basınç,

R = 8.314471 Joule / mole K gaz sabitidir.

R123 soğutucu akışkanı için a_k katsayıları tablo 2’de verilmektedir:

ULIBTK'11 18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi
07-10 Eylül 2011, ZONGULDAK

Tablo 2 - R123 a_k denklem katsayıları

k	a_k	k	a_k
1	-1.973 717 9010 E+00	17	7.261 925 3573 E-01
2	1.435 122 7567 E+02	18	-1.436 309 9944 E+03
3	-2.970 987 6039 E+03	19	6.425 273 9335 E+01
4	4.505 786 7093 E+05	20	3.352 484 9016 E+07
5	-4.047 216 7920 E+07	21	-2.068 382 1999 E+09
6	1.019 193 5793 E-01	22	1.825 650 3429 E+06
7	-1.963 375 2269 E+02	23	4.239 144 7763 E+10
8	9.251 220 6444 E+04	24	2.603 669 5332 E+04
9	-4.007 630 1858 E+07	25	1.307 500 3968 E+07
10	-2.040 473 0428 E-02	26	1.156 889 5787 E+03
11	3.681 964 8916 E+01	27	-7.417 765 4079 E+06
12	-1.144 525 2703 E+04	28	-2.449 500 4199 E+00
13	-5.509 682 7243 E-01	29	4.961 207 9844 E+03
14	-7.762 295 1034 E+00	30	4.045 163 1009 E-03
15	1.217 213 0502 E+05	31	1.214 915 4232 E+02
16	-8.286 917 1955 E+00	32	2.262 478 6818 E+04

Tablo 3 - R123'ün diğer fiziksel özellikleri

Kimyasal Formül	Sembol	CHCl ₂ CF ₃
Molekül ağırlığı	M	152.93
Kaynama sıcaklığı (1 Atm)		27.85 C
Kritik Sıcaklık	T _c	183.68 C = 456.83K
Kritik Basınç	P _c	3668.0 kPa
Kritik yoğunluk	ρ _c	550.0 kg/m ³
Kritik hacim	v _c	0.00182 m ³ /kg

Tablo 4- Denklemlerde kullanılan sabit değerler

Sabitin adı		
Gaz sabiti	R	8.314 J/(mole)K
Referans entalpi	h _f	200 kJ/kg 0 C de
Referans entropi	s _f	1 kJ/kg 0 C de
Atmosfer basıncı	P _{atm}	101.325 kPa

Doyma basıncı denklemini kısmi sürekli olarak $T_{Li} \geq T > T_{Hi}$ aralığı için

$$\log_{10}(P_s) = A_1 + A_2/T + A_3 * \log_{10}(T) + A_4 * T + A_5 * [(A_6 - T)/T] * \log_{10}[(A_6 - T)] \quad (2)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Bu denklem altı sıcaklık aralığına bölünmüş olarak kullanılabilir tarzda programlara aktarılmıştır. Örneğin soğutucu akışkan R123 için $-100 \text{ C} \geq T > 101 \text{ C}$ sıcaklık aralığında A_i kat sayıları Tablo 5 ' de verilmiştir.

Tablo 5- R123 (3) denklemini doymuş akışkan sıcaklık basınç fonksiyonu kat sayıları

i	A _i
1	1.656333 E+03
2	-2.480583 E+06
3	1.792522 E+06
4	-8.868380 E-02
5	4.617861 E+02
6	1.666667 E+03

İdeal gaz özgül ısı denklemi termodinamik modelin oluşması ve iç enerji, entalpi, entropi değerlerinin hesaplanması için gerekli bir denklemdir. R123 soğutucu akışkanı için Cp denklemi aşağıda yer almaktadır:

$$C_p(J / mole.K) = C_{p1} + C_{p2}T + C_{p3}T^2 \quad (3)$$

Bu denklemde yer alan Cp katsayıları aşağıdaki tablo 6'da verilmektedir.

Tablo 6 –R123 MBWR Denklemi Cp Denklemi Katsayıları:

Cp ₁	2.89811 E+01
Cp ₂	3.04711 E-01
Cp ₃	-1.95477 E-01

Doymuş sıvı yoğunluğunu sıvı bölgesi içinde tanımlanmış olan MBWR denklemiyle tanımlayabiliriz. Ancak burada ek denklem olarak yine de tanımlanmıştır. Ek denklemler iteratif proseslerde ilk tahmin değeri oluşturması için kullanılabilirler. Bu modelde kullandığımız doymuş sıvı yoğunluğu denklemi :

$$1/V' = \rho' = E_1 + E_2(1 - \tau)^{(1/3)} + E_3(1 - \tau)^{(2/3)} + E_4(1 - \tau) + E_5(1 - \tau)^{(4/3)} \quad (4)$$

Bu denklemde $\tau = T / T_c$ (5)

olarak tanımlanmıştır. T_c kritik sıcaklıktır (derece K).

R123 için doymuş sıvı yoğunluğu denkleminin katsayılarını Tablo 7'de verilmektedir:

Tablo 7–R123 MBWR denklemi doymuş sıvı yoğunluğu fonksiyonu katsayıları

i	E _i
1	4.643358 E+02
2	1.625985 E+03
3	-1.333543 E+03
4	1.986142 E+03
5	-7.172430 E+02

Bir soğutucu akışkanın termodinamik özelliklerini belirlemek için gerekli olan termodinamik değerlerin tamamı, yukarıda listelediğimiz denklemler yardımıyla hesaplanabilir. Yukarıda direkt olarak verilmeyen entalpi, entropi gibi fonksiyonların bu fonksiyonlardan türetilmesi için temel termodinamik bağıntılar kullanılır. Maxwell bağıntılarını adını verdiğimiz 4 temel bağıntı :

$$\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_s = \left(\frac{\partial P}{\partial s}\right)_V \quad (6a)$$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_s = \left(\frac{\partial V}{\partial s}\right)_P \quad (6b)$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = \left(\frac{\partial s}{\partial V}\right)_T \quad (6c)$$

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = \left(\frac{\partial s}{\partial P}\right)_T \quad (6d)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Burada T sıcaklık, P basınç, V özgül hacim, s entropi fonksiyonlarıdır. Parantez dışında indis olarak gösterilen değişkenler sabit olarak tutulan değerlerdir. Matematik işlemler sonucu bu bağıntılardan : ve temel entalpi tanım fonksiyonundan entropi, entalpi, iç enerji ve bunlara bağlı olarak diğer termodinamik değerler hesaplanabilir.

$$h = u + PV \quad (7)$$

$$ds = \left(\frac{C_v^0}{T} \right)_v dT + \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_T dV \quad (8)$$

$$s = s_0 + \int_{T_0}^T \left(\frac{C_v^0}{T} \right)_v dT + \int_{v_0}^v \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_T dV \quad (8a)$$

$$du = C_v^0 dT + \left[T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v - P \right] dV \quad (9)$$

$$u = u_0 + \int_{T_0}^T C_v^0 dT + \int_{v_0}^v \left[T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v - P \right] dV \quad (9a)$$

tanımlarına ulaşılır. Bu tanımları ve MBWR hal denklemini kullanarak entalpi, entropi ve hal denklemleri elde edilebilir, ancak ek olarak bir de referans noktası tanımı gerekmektedir. Soğutucu akışkanlarda, SI birim sistemi kullanımında referans olarak genellikle 0 C deki doymuş sıvı entalpisi 200 kJ/kg, doymuş sıvı entropisi ise 1 kJ/kgK olarak alınır.

3. TERMODİNAMİK VERİLERİNİN HAL DENKLEMİ VE BİLİNER TERMODİNAMİK ÇİFT KULLANILARAK HESAPLANMASI

Denklem (1) den de görüleceği gibi PRSV hal denkleminin P(v,T) formunda verilmiştir. Denklem özgül hacim(v) ve sıcaklık(T) verildiğinde basınç(P) değerini hesaplar. Bu denklemden türettiğimiz tüm diğer entalpi, iç enerji, entropi gibi termodinamik özellikler de aynı şekilde X(v,T) formundadır. Termodinamik ve ısı transferi hesaplarımızı yaparken bilinen termodinamik çift değişebilir. Hal denklemini açısından bakacak olursak 3 değişik forma ihtiyacımız olduğu görülür P(v, T), v(P, T) ve T(v, P). Hal denklemini P(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 yöntemlerini kullanabiliriz, Örneğin Newton-Raphson yöntemi:

$$v_n = v_{n-1} + \frac{F(v, T_i, P_i)}{\left(\frac{\partial F(v, T_i, P_i)}{\partial v} \right)} \quad (10)$$

İteratif formülünü kullanarak köke ulaşır. Bu denklemini 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 bulundurularak çözümler.

4. BİLGİSAYAR PROGRAMLARININ TANIMLANMASI

Çeşitli soğutkanlar için çeşitli hal denklemlerini kullanan refrigerant.java programı java dilinde geliştirilmiştir. Bu program doyma termodinamik özelliklerinin hesaplanmasında kübik şerit interpolasyon formüllerini kullanmaktadır. Bu programımızın adı ref_CS3.java dır.

Termodinamik bilimene göre denge halindeki bir akışkanın termodinamik özelliklerini hesaplamak için 2 adet bilinen değişkenin gerekir. Bizim modelimizde bilinen değişken setleri olarak

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 kurulum derecesi

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

refrigerant st=new refrigerant("R123");

double sıcaklık=0.0;

double kurulukderecesi=1.0;

double a[]=st.property("tx",sıcaklık, kurulukderecesi);

şeklinde çağrılabilir. Sonuçlar a boyutlu değişkenine

a[0] P basınç MPa

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 RefTable.java programında bir kullanıcı ara yüzü geliştirilmiştir. Bu ara yüz çıktısı Şekil 1

de görülmektedir.

soğutkan ismi	değer	birim
P, basınç	32.73000000000004	kPa
T, sıcaklık	0.0	derece C
v, özgül hacim	0.4444	m ³ /kg
h, entalpi	379.7	KJ/kg
u, iç enerji	365.154788	KJ/kg
s, entropi	1.658	KJ/kg
x, kuruluk derecesi	1.0	kg buhar/kg kar.
yoğunluk	2.25022502250225	kg/m ³
faz	doymuş buhar	

Şekil 1 RefTable.java Programı Arayüz Çıktısı

Programın kopyası http://www.yto.com.tr/turhan_coban adresinden bilgisayarınıza indirilebilir veya direk olarak kullanılabilir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Modified Benedict Webb Rubin (MBWR) hal denkleminin temel özellikleri ve bilgisayar ortamında bu hal denklemi ile çalışan soğutucu akışkanların termodinamik özelliklerinin nasıl hesaplandığı ilgili temel tanımlar verilmiş ve R123 gazının termodinamik özelliklerinin nasıl hesaplandığı örnek olarak gösterilmiştir. Geliştirmiş olduğumuz refrigerant.java programında Modified Benedict Webb Rubin (MBWR) hal denklemi ile hesaplanan diğer gazların termodinamik özellikleri de benzer yöntemle hesaplanabilmektedir. Termodinamik özelliklerin bilgisayar ortamında kolay kullanım olanaklarıyla hazır bulunması, bize ısıl proses hesaplarını yapmada büyük bir kolaylık getirecek ve sayısal proses optimizasyonunu yapmamızı sağlayacaktır. Bu daha enerji verimi yüksek sistemler dizayn etmemiz için temel koşullardan biridir.

6. KAYNAKLAR

[1] DUPONT The Miracle Of Science Suva R123 Refrigerant Thermodynamic Properties (SI)

[2] STEWART Richard B., JACOBSEN, Richard T., PENONCELLO, Steven G.

ASHRAE Thermodynamic Properties of Refrigerants

[3] ÇENGEL, Yunus, BOLES, Michael Thermodynamics An Engineering Approach, 5th ed., McGraw-Hill.

[4] ÇOBAN, M. Turhan, "Küçük şerit ve B şerit interpolasyon yöntemi kullanarak soğutucu akışkanların doyma termodinamik özelliklerinin hassas olarak oluşturulması", I Soğutma Teknolojileri Sempozyumu bildiri kitabı, 6-12 Ekim 2008, ISBN : 978-605-5771-00-3