

---

# SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİ : MARTİN-HOU HAL DENKLEMİ

**DR. M. TURHAN ÇOBAN**  
*Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi*  
*Makine Mühendisliği Bölüm, İzmir, Türkiye*  
[turhan.coban@ege.edu.tr](mailto:turhan.coban@ege.edu.tr)

## ÖZET

Soğutucu akışkanların termodinamik özelliklerini hesaplanmasının Martin - Hou denklemi kullanılarak nasıl yapıldığı detaylı olarak verilmiştir. Martin Hou denklemi bir çok soğutma akışkanının tanımında kullanılan ve temel olarak buhar bölgesinin özelliklerini tanımlayan bir gerçek hal denklemidir. Bu denklemin önemi göreceli olarak eski bir denklem olduğundan bilhassa soğutucu akışkanlar için oldukça geniş bir veri tabanına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Bu denklem sıvı bölgesini tanımlamadığı için sıvı yoğunluğu ile ilgili ek denkleme de ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca sıvının doyma basıncı, ideal gaz özgül ısı gibi özellikler de ayrıca tanımlanmalıdır. Entalpi, entropi gibi diğer termodinamik özellikler hal denkleminde Maxwell bağıntıları yardımıyla türetilirler. Bu yazımızda Martin-Hou modelinde kullandığımız denklemlerin tanımlanması detaylarıyla anlatılacak ve bu denklemden oluşturulan bilgisayar programı ve kullanıcı ana yüzü tanımlanacaktır.

## 1.Giriş

Soğutucu akışkanların termodinamik özelliklerini hesaplamak için gerçek gaz denklemleri kullanılır. Gerçek gaz denklemleri içerisinde en eski ve en çok bilinenlerinden birisi 1955 Yılında[1] yayınlanan Martin-Hou hal denklemidir. Bu denklem temelde sadece gaz fazı için geçerli bir denklem olup sıvı faz termodinamik ilişkilerini içermez. Uzun süredir bilinen bir denklem olması sebebiyle bir çok soğutucu akışkan için verilerin tanımlanmış olması bu denklemi kullanım açısından önemli kılmaktadır. Bu bildiride Martin-Hou denkleminin tanımı ve java program dilinde yazdığımız soğutma akışkanlarının Martin-Hou denklemi kullanılarak termodinamik özelliklerinin hesaplanması işlevinin detaylarını vereceğiz.

## 2. Denklemlerin Tanımlanması

Martin – Hou denklemi[1] ilk defa 1955de yayınlandığı haliyle

$$P=RT/(V-b)+\sum_{i=2}^5(A_i+B_iT+C_ie^{-\gamma})/(V-b)^i \quad (1)$$

şeklinde dir. Bu denklemdeki  $\gamma = KT/T_c$  olarak tanımlanmıştır. K denklemde kullanılan bir sabit sayıdır. Daha sonra bazı soğutucu akışkanlar için denkleme ek terimler eklenmiş ve Martin-Hou denklemi

$$P=RT/(V-b)+\sum_{i=2}^5(A_i+B_iT+C_ie^{-\gamma})/(V-b)^i \quad (2)$$
$$+(A_6+B_6T+C_6e^{-\gamma})/[e^{uV}(1+C'e^{uV})]$$

halini almıştır. Bu denklemdeki u ve C' ek denklem sabitleridir. Denklem kat sayıları 16 değişik soğutucu akışkan için ASHRAE, soğutucu akışkanların termodinamik özellikleri kitabında verilmiştir[2]. Örnek olarak halen en fazla kullanılan soğutucu akışkanlardan biri olan R22'nin kat sayılarını verelim:

Tablo 1 R22 Martin Hou denklemi A,B,C kat sayıları

i	A	B	C
1	0.0	0.0	0.0
2	-0.87466122549	8.7054394311E-4	-8.8533742184
3	-0.018939998642	1.4890632572E-4	1.6091656668
4	0.013524290185	-3.7996244181E-5	0.0
5	-0.0011768746066	3.0463870398E-6	-0.0058307411777
6	940018.96962	-2075.798446	0.0

R22 için hal denklemindeki diğer kat sayılar  $K=4.2$ ,  $u=101.55456431$ ,  $C^*=0.0$  değerlerini alır. Doyma basıncı denklemi kısmi sürekli olarak  $T_{Li} \geq T > T_{Hi}$  aralığı için

$$\log_{10}(P_s) = A_1 + A_2/T + A_3/T^2 + A_4 \log_{10}(T) + A_6 T^2 + A_7 T^3 + [A_8 (A_9 - T)/T] \log_{10}[(A_9 - T) * 1.8] \quad (3)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Bu denklem altı sıcaklık aralığına bölünmüş olarak kullanılabilir tarzda programlara aktarılmıştır. Örneğin soğutucu akışkan R22 için  $-100 \text{ C} \geq T > 5000 \text{ C}$  sıcaklık aralığında  $A_i$  kat sayıları Tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 2 R22 Martin Hou denklemi doymuş akışkan sıcaklık basınç fonksiyonu kat sayıları

i	$A_i$
1	0.25189356867e2
2	-0.21362184178e4
3	0.0
4	-0.786103122e1
5	0.39436902792e-2
6	0.0
7	0.0
8	0.445746703
9	0.38116666667e3
10	1.8

İdeal gaz özgül ısı denklemi termodinamik modelin oluşması için gerekli diğer bir denklemdir.

$$C_v^0 = G_1 + G_2 T + G_3 T^2 + G_4 T^3 + G_5 / T^2 + G_6 T^4 \quad (4)$$

Tablo 3 R22 Martin Hou denklemi ideal gaz özgül ısı fonksiyonu kat sayıları

$\mathbf{i}$	$\mathbf{G}_i$
<b>1</b>	0.10183212e2
<b>2</b>	0.14697171
<b>3</b>	-0.76354723e-4
<b>4</b>	0.0
<b>5</b>	0.28754121e5
<b>6</b>	0.0

Doymuş sıvı yoğunluğu sadece gaz bölgesi için verilmiş olan Martin Hou denklemi için tanımlı değildir, bu yüzden ek denklem olarak verilmiştir. Doymuş sıvı yoğunluğunu çeşitli soğutucu akışkanlar için çeşitli denklemlerle tanımlayabiliriz. Bu akışkanların hepsinin kat sayıları şu anda modelimize henüz eklenmiş durumda değildir, ancak zaman içinde ekleneceği için, bilgisayar modelinde hepsinin denklemleri tanımlanmıştır. Soğutucu akışkanlar R-11, R-14, R-22, R-23, R-113, R115, RC318,R-500 için :

$$1/V' = \rho' = E_1 + \sum_{i=2}^5 E_i \tau^{(i-1)/3} \quad (5)$$

$$\tau = 1 - T / T_c \quad (6)$$

olarak tanımlanmıştır.  $T_c$  kritik sıcaklıktır (derece K).

Soğutucu akışkanlar R-12, R-13 ve R-13B1 için :

$$1/V' = \rho' = E_1 + E_2(T_c - T) + E_3(T_c - T)^{1/2} + E_4(T_c - T)^{1/3} + E_5(T_c - T)^2 \quad (7)$$

tanımı yapılmıştır.

Yine örnek olarak R-22 için doymuş sıvı yoğunluğu denkleminin katsayılarını verelim.

Tablo 4 R22 Martin Hou denklemleri doymuş sıvı yoğunluğu fonksiyonu katsayıları

$\dot{i}$	$E_i$
1	0.6068821e1
2	0.1012108e2
3	0.6807772e1
4	-0.4129719e1
5	0.3792696e1

Doymuş buhar yoğunluğu denklemleri termodinamik özellik denklemlerinden değildir, çünkü bu değer hal denkleminin kendisinin (denklem 2) doyma basınç denkleminin verdiği değer için (denklem 3) çözülmesiyle elde edilebilir. Ancak bu çözüm Newton - Raphson metodu gibi sayısal lineer olmayan denklemler çözümü teknikleri gerektirdiğinden, doymuş buhar yoğunluğu denklemleri çözümlerimizde kullanabileceğimiz bir denklemdir. Bu denklem :

$$\ln(1/V) = \ln(\rho) = \sum_{i=-10}^{13} F_{i+11} \tau^{i/3} + F_{25} \ln(1 - \tau) \quad (8)$$

şeklinde tanımlanmıştır.  $\tau$  değişkeni tanımlı denklemler 6 da verildiği gibidir. Yine örnek olarak R-22 için doymuş buhar yoğunluğu denkleminin katsayılarını verelim.

Tablo 5 R22 Martin-Hou denklemleri doymuş buhar yoğunluğu fonksiyonu kat sayıları

$\dot{i}$	$F_i$
7	-0.1680024749e-4
11	0.1344723347
12	-2.845461973
14	0.1292966614e3
20	0.3106835616e4
21	-0.1189422522e5
22	0.1914759823e5
23	-0.1472081631e5
24	0.4527640563e4
25	0.1306817379e3

Tabloda listelenmeyen kat sayılar 0'a eşittir. Bir soğutucu akışkanın termodinamik özelliklerini belirlemek için gerekli olan termodinamik değerlerin tamamı, yukarıda listelediğimiz denklemler yardımıyla hesaplanabilir. Bu makalede sadece bir gaz için örnek kat sayıları sunduk, diğer gazlar için gerekli kat sayılar Referans 2 den sağlanabilir. Diğer gazların hesaplanması için oluşturulan programa sadece kat sayıların girilmesi kafidir. Yukarıda direk olarak verilmeyen entalpi, entropi gibi fonksiyonların bu fonksiyonlardan türetilmesi için temel termodinamik bağıntılar kullanılır. Maxwell bağıntıları adını verdiğimiz 4 temel bağıntı :

$$\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_s = \left(\frac{\partial P}{\partial s}\right)_V \quad (9a)$$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_s = \left(\frac{\partial V}{\partial s}\right)_P \quad (9b)$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = \left(\frac{\partial s}{\partial V}\right)_T \quad (9c)$$

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = \left(\frac{\partial s}{\partial P}\right)_T \quad (9d)$$

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 fonksiyonu

$$h = u + PV \quad (10)$$

tanımından

$$ds = \frac{C_v^0 dT}{T} + \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V dV \quad (11)$$

$$du = C_v^0 dT + \left[ T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V - P \right] dV \quad (12)$$

tanımlarına ulaşılır. Bu tanımları ve 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. Bu denklemler denklem 2 ve 4 kullanılarak (Martin-Hou denklemi için) 11 numaralı denklemin integrasyonu ile çözüldüğünde entropi fonksiyonu :

$$S = JR \ln(V-b) + \sum_{i=2}^5 J[B_i/(1-i)](V-b)^{(1-i)} - J B_6 / u e^{uV} - \sum_{i=2}^5 J K C_i e^{-\gamma} (V-b)^{(1-i)} / [T_c(1-i)] \\ + G_1 \ln(T) + G_2 T + G_3 T^2/2 + G_4 T^3/3 - G_5/(2T^2) + G_6 T^4/4 + Y \quad (13)$$

Şeklini alır. Bu arda J=1000 çevirme kat sayısı  $\gamma = KT/T_c$  ve Y integrasyon sabitidir. İntegral sabiti aynı zamanda referans noktası entropi değerini de içerir. Doymuş sıvı entropi değeri doymuş buhar entropi değerinden (Martin Hou denklemi sadece gaz fazı için tanımlanmıştır) Classius - Clapeyron denklemi adını verdiğimiz

$$s' = s'' - J(dP_s/dT)(V'' - V') \quad (14)$$

denklemini yardımıyla hesaplanır. Buradaki  $dP_s/dT$  değeri denklem 3 ün T ye göre türevidir.

Entalpi fonksiyonu aynı şekilde 2 ve 4 numaralı denklemler kullanılarak 10 ve 12 numaralı denklemlerin integrasyonundan çözümlerse :

$$h = \sum_{i=2}^5 J[A_i(V-b)^{(1-i)} / (1-i)] + J A_6 / (u e^{uV}) + \sum_{i=2}^5 J[(1+\gamma)C_i e^{-\gamma} (v-b)^{(1-i)} / (1-i)] \\ + JPV + G_1 T + G_2 T^2/2 + G_3 T^3/3 + G_4 T^4/4 - G_5/T + G_6 T^5/5 + X \quad (15)$$

buradaki X değeri de integrasyon sabitidir. Doymuş sıvı entalpisi, yine Classius - Clapeyron denklemi kullanılarak hesaplanır.

$$h' = h'' - JT(dP_s/dT)(V'' - V') \quad (16)$$

### 3. Bilgisayar Programlarının Tanımlanması

Birinci bölümde verilen denklem sistemini çözen `sogut.java` sınıfı java programlama dilinde hazırlanmıştır. Temel Martin-Hou hal denkleminin basıncı sıcaklık ve özgül hacmin fonksiyonu olarak çözen bir denklem olduğunu göz önüne alırsak, bilinen termodinamik çiftin bu iki değişkenin dışında olması halinde denklemlerin lineer olmayan denklem sistemi çözüm metotları yardımıyla hesaplanması gerektiği açıkça görülebilir. Bunu bir örnekle açıklayalım: Martin -Hou denklemi denklem 2 ile basınç sıcaklık ve özgül hacmin fonksiyonu olarak verilmiştir. Bu matematiksel olarak  $P(T,V)$  olarak gösterilir. Eğer biz özgül hacmi basınç ve yoğunluğun fonksiyonu olarak çözmek istersek,  $V(P,T)$  fonksiyonuna ihtiyacımız vardır. Bu fonksiyon elimizde bulunan  $P(T,V)$  fonksiyonunun köklerini bulma yoluyla elde edilir. İlk yazımızda Newton yöntemi ile bu sistemin çözümünden genel olarak bahsetmiştik. Newton yöntemini bu örneğe uygulayacak olursak :  $P_i$  ve  $T_i$  değerleri verildiğinde ve bir  $V_0$  ilk tahmin değeri için

$$V_1 = V_0 - [P(T_i, V_0) - P_i] / [dP(T_i, V_0) / dV] \quad (17)$$

$$V_n = V_{n-1} - [P(T_i, V_{n-1}) - P_i] / [dP(T_i, V_{n-1}) / dV] \quad (18)$$

Şeklinde n'inci iterasyonda bulunur. Burada  $dP(T_i, V_{n-1}) / dV$  basınç fonksiyonunun özgül hacme göre türevidir. Bu türev denklem 2 den analitik olarak alınabilir veya sayısal yöntemlerle hesaplanabilir. Eğer  $V_0$  tahmini gerçek değerden çok farklı değilse n iterasyon sonunda  $[P(T_i, V_{n-1}) - P_i]$  fonksiyonunun 0 a yaklaştığı noktada  $V$  nin gerçek değerine yaklaşır.  $V_0$  ilk tahmin değerinin gerçek değerden çok farklı olması durumunda çözüme ulaşamayabilir.

Buradaki programlamada kullandığımız Brent yönteminin kök bulma işlemini nasıl yaptığını da açıklayalım. Bu yöntemde başlangıç olarak köklerin içinde bulunduğu bölgeyi tanımlamamız gerekir. Yukardaki  $P(T,V)$  fonksiyonunu kullanarak  $V(T,P)$  değerini bulma örneği üzerinden gidersek, başlangıç olarak tarayacağımız bölge yani  $V$  değerinin minimum ve maksimum olabileceği değerler  $V_a$  ve  $V_b$  tanımlanır. Bunların ara bölgesinde bir de  $V_c$  değeri program tarafından seçilir. İlk iterasyon için  $V_c$  değeri örneğin  $V_b$  ye eşit olarak alınabilir. Ve

$$R = [P(T_i, V_b) - P_i] / [P(T_i, V_c) - P_i] \quad (19)$$

$$S = [P(T_i, V_b) - P_i] / [P(T_i, V_a) - P_i] \quad (20)$$

$$K = [P(T_i, V_a) - P_i] / [P(T_i, V_c) - P_i] \quad (21)$$

$$P = S[K(R-K)(V_c - V_b) - (1-R)(V_b - V_a)] \quad (22)$$

$$Q = (K-1)(R-1)(S-1) \quad (23)$$

Denklemlerini kullanarak

$$V_{b1} = V_b + P/Q \quad (24)$$

$V_b$  değeri  $V_{b1}$  değeriyle değiştirilerek yeni bir iterasyon (döngü) yapılır. Bu tür kök bulma işlemleri hemen her değişkene uygulanır. Örneğin doymuş buharın basıncı 3 numaralı denklemle sıcaklığın fonksiyonu olarak verilmişti, Doymuş buhar sıcaklığını basıncın fonksiyonu olarak bulmak istersek aynı tür metotları kullanmamız gerekecektir. Birinci bölümde tanımladığımız tüm denklemler için bu tür çözüm metotları uygulanır.

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

$t_x$  : sıcaklık-doymuş karışım kuruluk derecesi

$t_p$  veya  $p_t$  : sıcaklık – basınç

$t_v$  veya  $v_t$  : sıcaklık – özgül hacim

$t_h$  : sıcaklık – entalpi

$t_u$  : sıcaklık – iç enerji

$t_s$  : sıcaklık – entropi

$p_v$  veya  $v_p$  : basınç – özgül hacim

$p_h$  : basınç – entalpi

pu : basınç – iç enerji  
ps : basınç – entropi  
px : basınç - doymuş karışım kuruluk derecesi

gibi değişkenler üzerinden hesaplanabilir. Programda şu anda R11,R12,R13,R22 ve R123 gazları için gerekli kat sayılar girilmiştir, ancak bu listenin genişletilmesi için gerekli olan tek şey diğer gazlar için bu programda R22 için tablolarda verilen kat sayılarının programa girilmesinden ibarettir. Programlar java programlama dilinde yazıldığından bir java programında, örnek olarak sıcaklık-doymuş karışım kuruluk derecesi bilinen termodinamik değişkenler cinsinden:

```
sogut st=new sogut("R22");  
double sıcaklık=20.0;  
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.
```

SOGUTMA AKIŞKANLARI MARTIN-HOU HAL DENKLEMİ		
birim	SI	chlorodifluoromethane
Soğutucu akışkanın ismi	R22	R22
bilinen termodinamik çifti seçiniz :	tx	tx
Sıcaklık	0.0	derece C
Kuruluk der.	1.0	kg buh/kg kar.
Dr. Turhan Çoban, Ege Üniversitesi, Mühendislik fakültesi Makina Mühendisliği eImek : turhan.coban@ege.edu.tr		
MARTIN - HOU GAZ HAL DENKLEMİ		
P, basınç	0.49756786492748856	MPa
T, sıcaklık	0.0	derece C
v, özgül hacim	0.0471311829444303	m <sup>3</sup> /kg
h, entalpi	405.3375135545214	KJ/kg
u, iç enerji	381.88655153510484	KJ/kg
s, entropi	1.7517651000055967	KJ/kg
x, kuruluk derec.	1.0	kg buh/kg kar
yoğunluk	21.217375411529787	kg/m <sup>3</sup>
faz	doymuş buhar	

Şekil 1 sogutma.html arayüz programının çıktısının görünümü

Martin – Hou denklemini hesaplayan sogut.java sınıfını kendi programlarında kullanmayıp sadece sonuçları almak isteyen kullanıcılar için sogutTable.java programı hazırlanmıştır. Ayrıca tüm gerekli programları içinde barındıran sogutma.jar paketi ve internet ortamında programı çalıştıracak sogutma.html programı da hazırlanmıştır. Bu programın çıktısı [me.ege.edu.tr/~turhan](http://me.ege.edu.tr/~turhan) adresinde yer alacaktır. Ancak herhangi bir nedenle bu adrese ulaşamıyorsanız, beni yazının başında yer alan elektronik postamdan arayarak temin edebilirsiniz. Gelecek yazılarımızda değineceğimiz R134a gibi soğutucu akışkanları modellediğim Değiştirilmiş Benedict - Webb Rubin denklemi ve R22 nin daha hassas bir modelinin verildiği Japonya soğutma derneğinin termodinamik hal denklemlerine de şu anda aynı adreslerden ulaşmanız mümkün. Denklemlerde verilen akışkanların sayısı sınırlı olmakla beraber bu listeyi genişletmeyi düşünüyoruz, sizin özellikle ilgilendiğiniz soğutucu akışkanlar var ise bana yazarsanız, bu hal denklemlerine veya yeni geliştireceğimiz hal denklemlerine ekleyebiliriz. Denklemlerin çözümü oldukça yoğun işlem kapasitesi gerektirebilir, ve ilerde bu sayfalarda da bahsedeceğimiz bazı soğutma sistem simülasyonları için yavaş kalabilir. Daha hızlı çalışan kodlar arzu edildiğinde, buradaki kodlamalar, fazla bir emek gerektirmeden C++ diline de çevrilebilir, fakat bu durumda internet ortamında çalışmadan ödün vermemiz gerekir.

---

## 4.Sonuç

Soğutucu akışkanların termodinamik özelliklerini hesaplanmasında kullanılan Martin Hou denklemi ve gerekli diğer denklemler tanımlanmış, soğut.java isimli bir java programı geliştirilerek modellenmiştir. Bu programdan kullanıcıların yararlanabilmesini sağlamak amacıyla sogutTable.java programı geliştirilmiş ve sogutma.jar programında paketlenmiş, ayrıca soğutma.html internet apleti şeklinde de sunulmuştur. Kullanıcılarımızdan bu tür paketleri kullanırken bu denklemlerin belli yaklaşımlar içerdiğini hatırlamalarını rica ederiz. Buradaki gayemiz gerçek proseslerin daha etkin şekilde araştırmacılarımız tarafından kullanılabilmesi için gerekli temel altyapıyı oluşturmaktır. Araştırmacılarımız kodları İnternet ortamından temin edemezlerse, direk yazardan e-mektupla ücretsiz olarak isteyebilirler.

## 5. Kullanılan Simgelerin Anlamları Ve Birimleri

P : Basınç MPa

V : Özgül hacim m<sup>3</sup>/kmol

$\rho$  : yoğunluk kmol/ m<sup>3</sup>

T : Sıcaklık K

S : Entropi kJ/kmol-K

H : Entalpi kJ/kmol-K

C<sub>v</sub> : sabit havimde özgül ısı kJ/kmol-K

R : İdeal gaz sabiti kJ/kmol K

K : denklem sabiti

h : entalpi kJ/kmol

s : entropi kJ/kmol K

u : iç enerji kJ/kmol

### Alt indisler :

c : kritik değer alt indisi

o : ideal gaz alt indisi

' : doymuş sıvı fazı üst indisi

“ : doymuş buhar fazı üst indisi

s : doyma (buharlaşıma) indisi

## 6. Referanslar

Martin J.J. ve Hou, Y.C. “Development of an Equation of State for Gases”, AIChe Journal, 1, No. 2,142-151 (1955)

Richard B. Stewart, Richard T Jacobsen, Steven G. Penoncello, “ASHRAE Thermodynamic Properties of Refrigerants”

Ihsan Barin, Thermochemical Data of Pure Substances, VCH publishing, 1989, ISBN 3-527-27812-5

N.B. Vargaftick, Table of Thermophysical Properties of Liquids and Gases, 1975, Hemisphere Publishing

Thomas H. Kuehn, Jams W. Ramsey, James L. Threlkeld, Thermal Environmental Engineering, Prentice Hall, 3üncü baskı, 1998, ISBN 0-13-917220-3

M. Turhan Çoban, Java 2 Programlama Kılavuzu, ALFA yayınevi, ticarethane sok no 41/1 34410 cağaloglu İstanbul, ISBN 975-316-631-1

Kenneth Wark, Jr. Thermodynamics, Mc-Graw Hill International Editions, 5inci baskı, 1989, ISBN 0-07-068286-0