

# Soğutma Sistemlerinde ve Isı Pompalarında Kullanılan Soğutucu Akışkanların Performanslarının Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi

İ. Necmi KAPTAN\*

E. Fuad KENT\*\*

Taner DERBENTLİ\*\*\*

## Özet

*Bu çalışmada R-11, R-12, R-13, R-14, R-22, R-23, R-114, R-C318, R-500, R-502 ve R-134a soğutucu akışkanlarının doyma ve kızgın buhar bölgesindeki özelliklerini hesaplamak üzere hazırlanan bir fortran programı, alt program olarak kullanılmış ve bu soğutucu akışkanların ideal buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimindeki performansları, karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.*

## 1. GİRİŞ

Soğutucu akışkanlar ve bunların termodinamik özelliklerinin hesaplanması soğutma, iklimlendirme ve ısı pompası sistemlerinin tasarımında büyük öneme sahiptir. Bu sistemlerde soğutucu akışkan olarak kloroflorokarbonlar (CFC), hidrokloroflorokarbonlar (HCFC) ve bunlara alternatif olarak geliştirilen ozon tabakasına zarar vermeyen hidroflorekarbonlar (HFC) kullanılmaktadır. Bir sistemin tasarımında kullanılan soğutucu akışkanın karakteristiklerinin ve termodinamik özelliklerinin hassas bir şekilde bilinmesi gerekir.

Bilgisayar uygulamalarının yaygınlaştığı günümüzde akışkan özelliklerinin bilgisayar yardımıyla hesaplanması büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Bu çalışmada geliştirilen program yardımıyla hesaplanan soğutucu akışkan özellikleri kullanılarak, bu soğutucu akışkanların buhar sıkıştırımlı soğutma makinası ve ısı pompası çevrimlerindeki performansları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, incelenen soğutucu akışkanlar için buharlaşma sıcaklığına bağlı olarak basınç oranı, hacimsel verim, kompresör işi, tesir katsayıları diyagramlar üzerinde verilmiştir. Bu diyagramlar yorumlanarak soğutucu akışkanların performansları karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

## 2. SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN TERMODİNAMİK ÖZELİKLERİ

Bu çalışmada R-11, R-12, R-13, R-14, R-22, R-23, R-114, R-C318, R-500, R-502 ve R-134a soğutucu akışkanlarının doyma ve kızgın buhar bölgesindeki özelliklerini hesaplayan bir fortran programı hazırlanmıştır. Programa temel oluşturan dört denklem: P-v-T hal denklemi, ideal gaz için özgül ısılardan sıcaklıkla değişimini veren denklem, doyma basıncının sıcaklıkla değişimini

\* Yrd. Doç. Dr., İTÜ Makina Fakültesi.

\*\* Doç. Dr., İTÜ Makina Fakültesi.

\*\*\* Prof. Dr., İTÜ Makina Fakültesi.

Verilen denklemler, doymuş sıvı yoğunluğunun sıcaklığa göre değişimini vermektedir. Bu denklemlerdeki katsayılar, genellikle, kritik noktada sabit sıcaklıkta basıncın özgül hacme göre birinci ve ikinci türevlerinin sıfır olması gibi bazı koşullarla birlikte, deneysel dataya (çoğunlukla basınç, özgül hacim ve sıcaklık değerlerine) en küçük kareler yöntemiyle eğri uydurulmasıyla elde edilmektedir. Bu çalışmada incelenen soğutucu akışkanlara ait dört temel denklem ve katsayıları ise çeşitli kaynaklardan alınmıştır (Martin ve Hou, 1955; Reynolds, 1979; Wilson ve Basu, 1988; Khan ve Zubair, 1993; Kaptan, 1988; Kaptan ve Derbentli, 1997; ASHRAE, 1993). Değişik soğutucu akışkanlar için, katsayıları Tablo 1'de verilen, bu dört temel denklem şunlardır:

(1) Hal Denklemi (P [Pa], T [K], u [m<sup>3</sup>/kg] )

$$P = \frac{RT}{u-b} + \sum_{i=2}^5 \frac{1}{(u-b)^i} (A_i T + B_i C_i) e^{k_i T/T_{kr}} - \frac{A_6}{e^{au} (1+ce^{au})} = B_6 T = C_6 e^{-kT/T_{kr}} \quad (1)$$

(2) İdeal Gaz Sabit Hacimde Özgül Isı Denklemi (c<sub>uo</sub> [J/kg-K], T [K] )

$$c_{uo} = \sum_{i=1}^4 G_i T_i - 1 + G_5 / T^2 \quad (2)$$

(3) Doyma basıncı Denklemi (P [ Pa], T [K] )

$$\ln P_d = F_2 + F_1 / T + F_3 \ln T + F_4 T + F_5 T^2 + F_6 T^3 + F_7 (T/T_{kr})^b + F_8 \frac{(g-T)}{T} \ln(g-T) \quad (3)$$

(4) Doymuş Sıvı Yoğunluğu Denklemi ( r [kg/m<sup>3</sup>], T [K] )

$$r_{\parallel} = \sum_{i=1}^5 D_i X^{(i-1)/3} + D_6 X^{1/2} + D_7 X^2 \quad (4)$$

Burada, X = 1 - T / T<sub>kr</sub> dir. Yukarıdaki denklemlerde, P basınç, T sıcaklık, u özgül hacim ve A<sub>i</sub>, B<sub>i</sub>, C<sub>i</sub>, D<sub>i</sub>, F<sub>i</sub>, G<sub>i</sub>, b, k, a, b, c, g amprik sabitlerdir (Tablo 1).

Bu soğutucu akışkanların, kızgın buhar bölgesindeki termodinamik özelliklerinin hesabı için sadece (1) ve (2) no'lu denklemler gerekli olmaktadır. Doymuş buhar ve kızgın buharın iç enerji, entalpi ve entropileri, bu iki denklem kullanılarak ve termodinamik özellik bağıntıları yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$u = \sum_{i=1}^4 \frac{G_i}{T_o} (T_i - T_o) = G_5 \left( \frac{1}{T_o} - \frac{1}{T} \right) - \sum_{i=2}^5 W_i Z_i + T \sum_{i=2}^5 X_i Z_i - (W_6 - T X_6) Z_u + u_o \quad (5)$$

$$h = u + P u \quad (6)$$

**Tablo 1. R-500, R-12, R-134a, R-502 ve R-22 soğutucu akışkanlarının özelliklerinin hesabında kullanılan denklemlerdeki katsayılar**

|                  | R-500   | R-12                            | R-134a                            | R-502   | R-22               |
|------------------|---|---------------------------------|-----------------------------------|---|--------------------|
| Kimyasal Formülü | R-12 / R-152a   | CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> | CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F | R-22 / R-115  | CHClF <sub>2</sub> |
|                  | (%73.8 CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> / %26.2 C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> F <sub>2</sub> ) |                                 |                                   | (%48.8 CHClF <sub>2</sub> / %51.2 C <sub>2</sub> ClF <sub>5</sub> ) |                    |

|  |                               |                               |                               |                                 |                               |
|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| M (kg/kmol)  | 99.31                         | 120.93                        | 102.03                        | 111.64                          | 86.48                         |
| T <sub>kr</sub> (K)  | 378.66                        | 385.17                        | 374.25                        | 355.31                          | 369.17                        |
| P <sub>kr</sub> (MPa)  | 4.4258                        | 4.1159                        | 4.0670                        | 4.0747                          | 4.9776                        |
| r <sub>kr</sub> (kg/m <sup>3</sup> )   | 496.57                        | 588.08                        | 512.21                        | 560.65                          | 524.77                        |
| T <sub>o</sub> (K)   | 200                           | 200                           | 233.15                        | 200                             | 200                           |
| Denklemlerdeki sabitler, T (K), r (kg/m <sup>3</sup> ), P (Pa) ve c <sub>vo</sub> (J/kg-K) için verilmiştir. |                               |                               |                               |                                 |                               |
| Hal Denklemleri  |                               |                               |                               |                                 |                               |
| R  | 83.7133                       | 68.7480                       | 81.4890                       | 74.4743                         | 96.1467                       |
| b  | 3.76703749x10 <sup>-4</sup>   | 4.06366926x10 <sup>-4</sup>   | 3.4550441x10 <sup>-4</sup>    | 1.04254456x10 <sup>-4</sup>     | 1.24855636x10 <sup>-4</sup>   |
| A <sub>2</sub>   | -1.222557685x10 <sup>2</sup>  | -9.16210126x10 <sup>1</sup>   | -1.19502077x10 <sup>2</sup>   | -8.7633628387x10 <sup>1</sup>   | -1.16981908x10 <sup>2</sup>   |
| A <sub>3</sub>   | 1.45279154x10 <sup>-1</sup>   | 1.01049598x10 <sup>-1</sup>   | 1.44773729x10 <sup>-1</sup>   | 5.8487769532x10 <sup>-2</sup>   | -2.92952588x10 <sup>-2</sup>  |
| A <sub>4</sub>   | 9.13792893x10 <sup>-5</sup>   | -5.74640225x10 <sup>-5</sup>  | -1.04893050x10 <sup>-4</sup>  | -8.9814259017x10 <sup>-5</sup>  | 2.41919261x10 <sup>-4</sup>   |
| A <sub>5</sub>   | 8.99528863x10 <sup>-9</sup>   | 0.0                           | -6.95337993x10 <sup>-9</sup>  | 5.7770975886x10 <sup>-8</sup>   | -2.43458381x10 <sup>-7</sup>  |
| A <sub>6</sub>   | 0.0                           | 0.0                           | 0.0                           | -2.6377811471x10 <sup>9</sup>   | 4.0022615x10 <sup>11</sup>    |
| B <sub>2</sub>   | 1.11650804x10 <sup>-1</sup>   | 7.71136428x10 <sup>-2</sup>   | 1.13756227x10 <sup>-1</sup>   | 9.9521056148x10 <sup>-2</sup>   | 1.16431240x10 <sup>-1</sup>   |
| B <sub>3</sub>   | -9.48606280x10 <sup>-5</sup>  | -5.67539138x10 <sup>-5</sup>  | -8.94202965x10 <sup>-5</sup>  | -2.6206099180x10 <sup>-5</sup>  | 3.0319412x10 <sup>-4</sup>    |
| B <sub>4</sub>   | 0.0                           | 0.0                           | 0.0                           | 1.3240127692x10 <sup>-7</sup>   | -6.79667708x10 <sup>-7</sup>  |
| B <sub>5</sub>   | 1.07667125x10 <sup>-10</sup>  | 4.08193371x10 <sup>-11</sup>  | 1.26971258x10 <sup>-10</sup>  | -9.3160674753x10 <sup>-10</sup> | 3.0201766x10 <sup>-10</sup>   |
| B <sub>6</sub>   | 0.0                           | 0.0                           | 0.0                           | 6.9270943008x10 <sup>-8</sup>   | 2.07580650x10 <sup>-9</sup>   |
| C <sub>2</sub>   | -2.496466880x10 <sup>3</sup>  | -1.52524293x10 <sup>3</sup>   | -3.53150532x10 <sup>3</sup>   | -6.5157668337x10 <sup>2</sup>   | -1.18409710x10 <sup>3</sup>   |
| C <sub>3</sub>   | 4.60008366                    | 2.19982681                    | 6.46898532                    | 5.5817296336x10 <sup>-1</sup>   | 2.48896136                    |
| C <sub>4</sub>   | 0.0                           | 0.0                           | 0.0                           | 2.3470347290x10 <sup>-3</sup>   | 0.0                           |
| C <sub>5</sub>   | -1.37460901x10 <sup>-6</sup>  | -1.66307226x10 <sup>-7</sup>  | -2.045121668x10 <sup>-6</sup> | -2.4297977885x10 <sup>-6</sup>  | 2.0619716x10 <sup>-6</sup>    |
| C <sub>6</sub>   | 0.0                           | 0.0                           | 0.0                           | 1.0603021861x10 <sup>13</sup>   | 0.0                           |
| k  | 5.475                         | 5.475                         | 5.475                         | 4.2                             | 4.2                           |
| a  | -                             | -                             | -                             | 9755.2665                       | 8781.3417                     |
| c  | -                             | -                             | -                             | 7.0x10 <sup>-7</sup>            | -                             |
| İdeal Gaz Özgül Isı Denklemleri  |                               |                               |                               |                                 |                               |
| G <sub>1</sub>   | 1.122210487x10 <sup>2</sup>   | 3.389005260x10 <sup>1</sup>   | 5.9615532x10 <sup>1</sup>     | 8.5490269200x10 <sup>1</sup>    | 1.17767818x10 <sup>2</sup>    |
| G <sub>2</sub>   | 2.138288123                   | 2.507020671                   | 3.04107782                    | 2.2584619105                    | 1.69972960                    |
| G <sub>3</sub>   | -1.318105011x10 <sup>-3</sup> | -3.274505926x10 <sup>-3</sup> | -2.32494474x10 <sup>-3</sup>  | -1.9113995193x10 <sup>-3</sup>  | 8.83043292x10 <sup>-4</sup>   |
| G <sub>4</sub>   | 0.0                           | 1.641736815x10 <sup>-6</sup>  | 6.35668731x10 <sup>-7</sup>   | 5.3983516293x10 <sup>-7</sup>   | 0.0                           |
| G <sub>5</sub>   | 0.0                           | 0.0                           | 0.0                           | 8.2777831437x10 <sup>4</sup>    | 3.32541759x10 <sup>5</sup>    |
| Doyma Basıncı Denklemleri  |                               |                               |                               |                                 |                               |
| F <sub>1</sub>   | 4.73707956x10 <sup>1</sup>    | 9.33438056x10 <sup>1</sup>    | 3.171116x10 <sup>1</sup>      | 3.2652346611x10 <sup>1</sup>    | 7.1554148092x10 <sup>1</sup>  |
| F <sub>2</sub>   | -4.27321106x10 <sup>3</sup>   | -4.39618785x10 <sup>3</sup>   | -3.980404x10 <sup>3</sup>     | -4.5218998176x10 <sup>3</sup>   | -4.8189575050x10 <sup>3</sup> |
| F <sub>3</sub>   | -3.63691000                   | -1.24715223x10 <sup>1</sup>   | 0.0                           | -3.6983496000x10 <sup>-1</sup>  | -7.8610312200                 |
| F <sub>4</sub>   | 2.08360862x10 <sup>-3</sup>   | 1.96060432x10 <sup>-2</sup>   | -2.405322x10 <sup>-2</sup>    | -7.2380229337x10 <sup>-3</sup>  | 9.0806824483x10 <sup>-3</sup> |
| F <sub>5</sub>   | 0.0                           | 0.0                           | 2.245210488x10 <sup>-5</sup>  | 0.0                             | 0.0                           |
| F <sub>6</sub>   | 0.0                           | 0.0                           | 0.0                           | 0.0                             | 0.0                           |
| F <sub>7</sub>   | 0.0                           | 0.0                           | 0.0                           | 0.0                             | 0.0                           |
| F <sub>8</sub>   | 4.62940100x10 <sup>-1</sup>   | 0.0                           | 1.995548x10 <sup>-1</sup>     | 8.1611391000x10 <sup>-1</sup>   | 4.457467030x10 <sup>-1</sup>  |
| b  | -                             | -                             | -                             | -                               | -                             |
| g  | 386.43                        | -                             | 374.85                        | 363.33                          | 381.17                        |
| Doymuş Sıvı Yoğunluğu Denklemleri  |                               |                               |                               |                                 |                               |
| D <sub>1</sub>   | 4.965735000x10 <sup>2</sup>   | 5.580845400x10 <sup>2</sup>   | 5.1221400x10 <sup>2</sup>     | 5.6064750x10 <sup>2</sup>       | 5.24766060x10 <sup>2</sup>    |
| D <sub>2</sub>   | 6.977978970x10 <sup>2</sup>   | 8.544458040x10 <sup>2</sup>   | 8.1963040x10 <sup>2</sup>     | 8.5673938x10 <sup>2</sup>       | 8.75161285x10 <sup>2</sup>    |
| D <sub>3</sub>   | 1.196726116x10 <sup>3</sup>   | 0.0                           | 1.0235965x10 <sup>3</sup>     | 1.0230082x10 <sup>3</sup>       | 5.88662575x10 <sup>2</sup>    |
| D <sub>4</sub>   | -1.402948285x10 <sup>3</sup>  | 2.994077103x10 <sup>2</sup>   | -1.1567728x10 <sup>3</sup>    | -1.1225871x10 <sup>3</sup>      | -3.57093464x10 <sup>2</sup>   |
| D <sub>5</sub>   | 9.047729355x10 <sup>2</sup>   | 0.0                           | 7.8972990x10 <sup>2</sup>     | 7.7656102x10 <sup>2</sup>       | 3.27951374x10 <sup>2</sup>    |
| D <sub>6</sub>   | 0.0                           | 3.521500633x10 <sup>2</sup>   | 0.0                           | 0.0                             | 0.0                           |
| D <sub>7</sub>   | 0.0                           | 5.047419739x10 <sup>1</sup>   | 0.0                           | 0.0                             | 0.0                           |
| u <sub>o</sub>   | 1.9934995x10 <sup>5</sup>     | 1.6970187x10 <sup>5</sup>     | 2.06208325x10 <sup>5</sup>    | 1.6813807 x10 <sup>5</sup>      | 2.3237771x10 <sup>5</sup>     |
| s <sub>o</sub>   | 1.0530190x10 <sup>3</sup>     | 8.9448764x10 <sup>2</sup>     | 1.04501490x10 <sup>3</sup>    | 9.4570295x10 <sup>2</sup>       | 1.2436918x10 <sup>3</sup>     |

$$s = G_1 \ln(T / T_o) + \sum_{i=2}^4 \frac{G_i}{i-1} (T^{i-1} - T_o^{i-1}) + \frac{G_5}{2} \left( \frac{1}{T_o^2} - \frac{1}{T^2} \right) + R \ln(u - b) - \sum_{i=2}^5 X_i Z_i + X_6 Z_u + s_o \quad (7)$$

Burada,

$$W_i = A_i + B_i T + C_i e^{-kT/T_{kr}} \quad (8)$$

(9)

$$X_i = B_i - \frac{kC_i}{T_c} e^{-kT/T_{kr}}$$

$$Z_i = \frac{1}{(1-i)(u-b)^i} \quad (10)$$

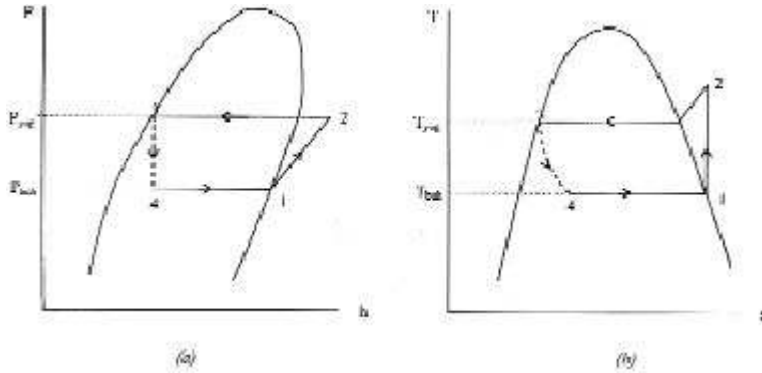
$$Z_u = \frac{c}{a} \ln\left(1 + \frac{1}{ce^{au}}\right) - \frac{1}{ce^{au}} \quad (11)$$

İlk dört denklem (1-4), doymuş sıvının termodinamik özelliklerini hesaplamak için gerekli olmaktadır. Verilen sıcaklıktaki doyma basıncı (3) no'lu denklemle ve doyma basıncının sıcaklığa göre türevinin değeri de bu denklemin sıcaklığa göre türevi alınarak hesaplanmaktadır. Bu durumda sıcaklık ve basınç belli olduğu için, doymuş buharın özellikleri ( $u_g, u_g, h_g, s_g$ ), (1-2) ve (5-7) no'lu denklemler kullanılarak deneme-yanılma yöntemiyle bulunmaktadır. Buharlaşma entalpisi ( $h_{fg} = h_g - h_f$ ), Clapeyron denklemi yardımıyla

$$h_{fg} = T u_{fg} \frac{dP}{dT} \quad (12)$$

ve buharlaşma entropisi de ( $s_{fg} = s_g - s_f$ ) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$s_{fg} = h_{fg} / T \quad (13)$$



Böylece, doymuş sıvının entalpisi, doymuş buharın entalpisinden (12) no'lu denklemi çıkararak;

42  
2005

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, Sayı 86,

doymuş sıvının entropisi de doymuş buharın entropisinden (13) no'lu denklemi çıkararak bulun - maktadır.

### 3. SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN PERFORMANSLARINI KARŞILAŞTIRMADA KULLANILAN DENKLEMLER

İdeal buhar sıkıştırımlı çevrim için P-h ve T-s diyagramları Şekil 1'a ve Şekil 1 b'de gösterilmek - tedir (1-2 izantropik sıkıştırma, 2-3 sabit basınçta yoğunlaşma, 3-4 sabit entalpide kısılma, 4-1 sa - bit basınçta buharlaşma).

Şekil 1. İdeal buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi için (a) P-h ve (b) T-s diyagramları

İdeal çevrim için kullanılan denklemler aşağıda verilmektedir:

$$\text{Basınç oranı} \quad : PR = \frac{P_{yog}}{P_{buh}} \quad (14)$$

$$\text{Özgül soğutma etkisi} \quad : q_{buh} = h_1 - h_4 \quad (15)$$

$$\text{Soğutma Kapasitesi} : \dot{Q}_{\text{buh}} = \dot{m} (h_1 - h_4) \quad (16)$$

$$\text{Özgül yoğuşturucu (ısıtma) yükü: } q_{\text{yoğ}} = h_2 - h_3 \quad (17)$$

$$\text{Yoğuşturucu Kapasitesi} : \dot{Q}_{\text{yoğ}} = \dot{m} (h_2 - h_3) \quad (18)$$

$$\text{Kompresör işi} : \dot{W}_k = h_2 - h_1 \quad (19)$$

$$\text{Kompresör Gücü} : \dot{W}_k = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (20)$$

$$\text{Isıtma tesir katsayısı} : \text{ITK} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \quad (21)$$

$$\text{Soğutma tesir katsayısı} : \text{STK} = \frac{h_2 - h_1}{h_1 - h_4} \quad (22)$$

$$\text{Soğutma verimi (II.Yasa Verimi)} : h_R = \text{STK} / (\text{STK})_{\text{Carnot}} \quad (23)$$

$$\text{Özgül kompresör yer değiştirmesi} : \text{STK} = \frac{u_1}{h_1 - h_4} \quad (24)$$

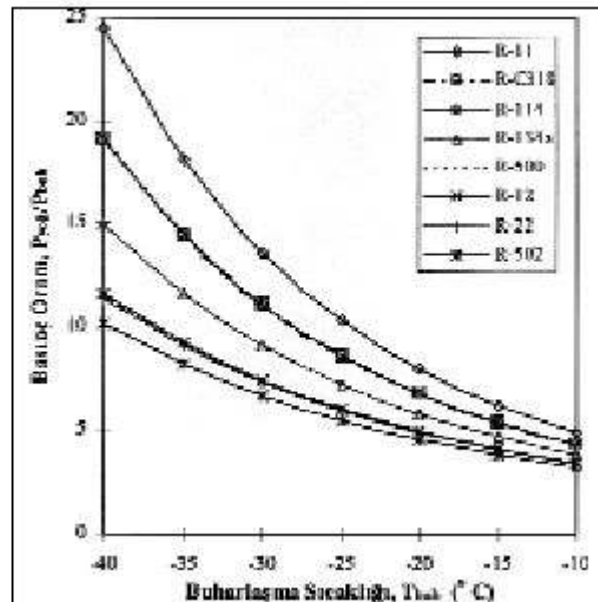
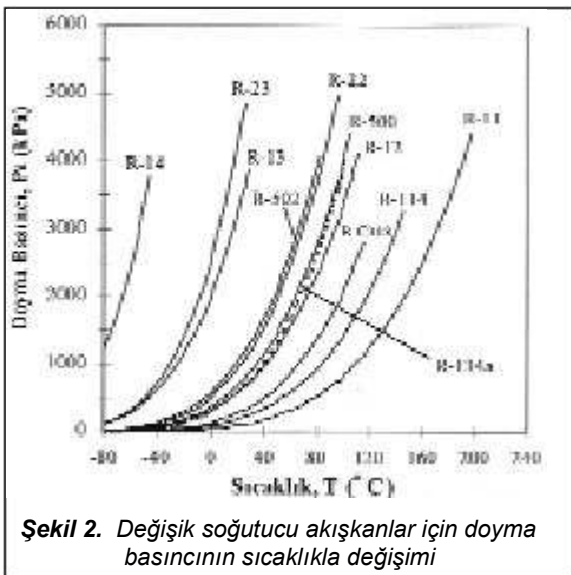
$$\text{Hacimsel verim} : h_n = \frac{m}{m_t} = \frac{m}{PD/u\dot{V}} = \frac{m u_1}{s} = 1 + C - C \frac{u_1}{u_2} \quad (25)$$

$$\text{Strok Hacmi} : PD = \frac{\dot{V} D^2}{4} \quad (26)$$

$$\text{Hacimsel debi} : \dot{V}_s = PD \frac{N}{60} = \frac{\dot{V} D^2}{4} \frac{N}{60} \quad (27)$$

Yukarıdaki denklemlerde (14-27); P basınç (kPa), u özgül hacim (m<sup>3</sup>/kg), h entalpi (kJ/kg), m bir devirde silindire giren gerçek gaz kütlesi (kg), m<sub>t</sub> bir devirde silindire giren teorik gaz kütlesi (kg), h<sub>n</sub> hacimsel verim, C ölü hacim oranı, D silindir çapı (m), l strok (m/devir), N devir sayısı (devir/dak) dir. İdeal çevrim için, ITK ve STK arasındaki ilişki: ITK = STK + 1 şeklindedir.

Kompresör gücü, STK ve kompresör yerdeğiştirmesi ile ilgili parametrelere bağlı olarak aşağı



daki gibi yazılabilir:

$$W_k = m (h_2 - h_1) = \frac{h_n \dot{V} S}{u_1} (h_2 - h_1) = \frac{h_n \dot{V} S (h_2 - h_1)}{SCD (h_1 - h_4)} = \frac{h_n \dot{V} S}{(SCD) (STK)} \quad (28)$$

1 ton soğutma ( $\dot{Q}_{buh} = 3.517 \text{ kW}$ ) kapasitesi için gerekli kompresör gücü,

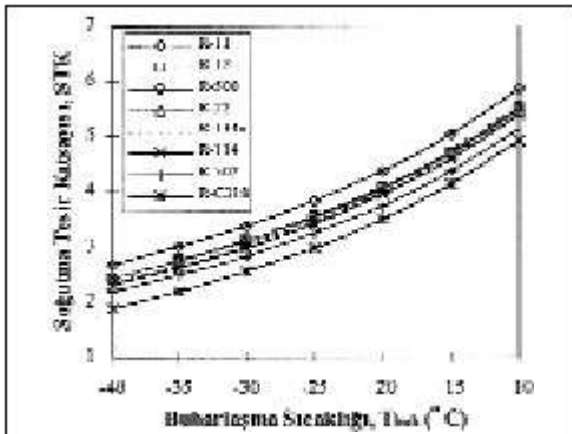
$$W_{k,TR} = m_{TR} (h_2 - h_1) = \frac{Q_{buh,TR}}{q_{buh}} (h_2 - h_1) = \frac{3.517 (h_2 - h_1)}{(h_1 - h_4)} = \frac{3.517}{STK} \quad (29)$$

şeklindedir.

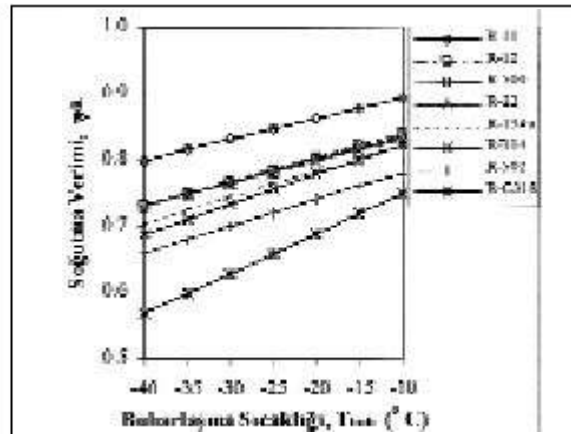
#### 4. SONUÇLAR VE İRDELEME

Bu çalışmada, R-11, R-12, R-13, R-14, R-22, R-23, R-114, R-C318, R-500, R-502 ve R-134a soğutucu akışkanlarının doyma ve kızgın buhar bölgesindeki özelliklerinin hesabı için geliştirilen bir program yardımıyla, bu soğutucu akışkanların, buhar sıkıştırılmalı çevrime göre çalışan soğutma makineleri ve ısı pompalarındaki performansları incelenmiştir. Çözümlemeler, ideal buhar sıkıştırılmalı soğutma çevrimine göre yapılmıştır. Çevrimdeki yoğuşma sıcaklığı,  $T_{yog} = 30^{\circ}C$  sabit alınarak, basınç oranı, tesir katsayıları, buharlaştırıcı ve yoğuşturucu yükleri, özgül kompresör işi, hacimsel verim, özgül kompresör yerdeğiştirmesi ve 1 ton soğutma yapılması halinde kompresör gücünün buharlaşma sıcaklığına bağlı olarak değişimleri incelenmiştir. Buharlaşma sıcaklığı  $-40$  ile  $-10^{\circ}C$  arasında değiştirilmiştir. Şekil 2'de çeşitli soğutucu akışkanlar için doyma basıncının sıcaklıkla değişimi görülmektedir. Bu çalışmada  $T_{yog} = 30^{\circ}C$  seçildiği için, kritik sıcaklıkları bu değer altındaki olan R-13, R-14 ve R-23'ün performansları incelenmemiştir.

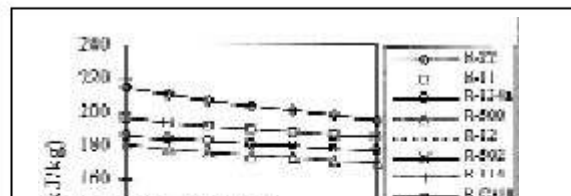
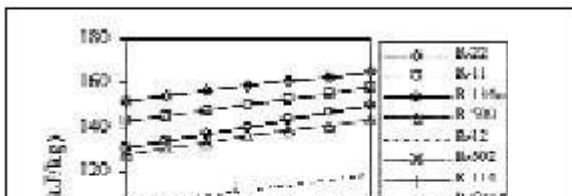
Şekil 3'te basınç oranının buharlaşma sıcaklığına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Sıralama R-11 en yüksek R-502 en düşük olacak şekildedir. Ayrıca incelenen sıcaklık aralığında R-C318 ile R-114 ün basınç oranları arasındaki fark %1 den daha küçüktür ve bu iki soğutucu akışkanın basınç oranları R-134a'ya göre daha yüksektir. R-500, R-12 ve R-22 için basınç oranları

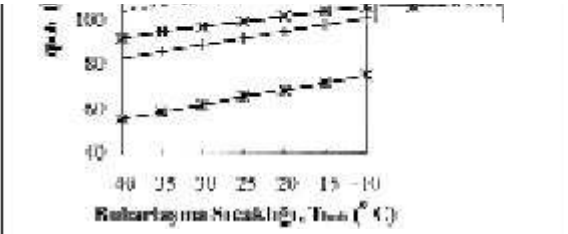


Şekil 4. Soğutma tesir katsayısının buharlaştırıcı sıcaklığına göre değişimi ( $T_{yog} = 30^{\circ}C$ )

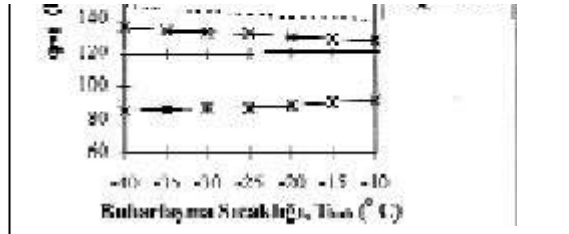


Şekil 5. Soğutma veriminin buharlaştırıcı sıcaklığına göre değişimi ( $T_{yog} = 30^{\circ}C$ )

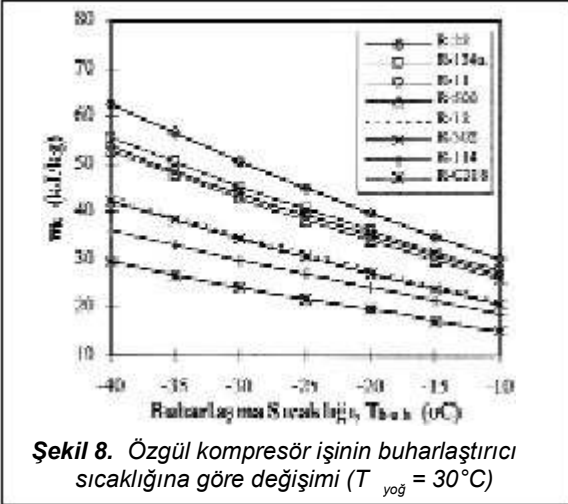




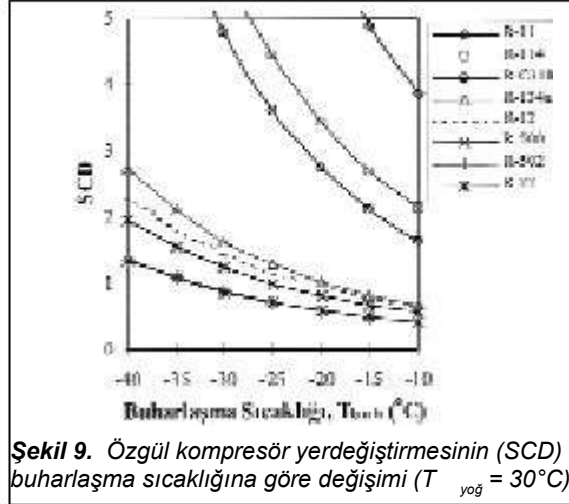
Şekil 6. Özgül buharlaştırıcı yükünün buharlaştırıcı sıcaklığına göre değişimi ( $T_{yoğ} = 30^{\circ}\text{C}$ )



Şekil 7. Özgül yoğuşurucu yükünün buharlaştırıcı sıcaklığına göre değişimi ( $T_{yoğ} = 30^{\circ}\text{C}$ )

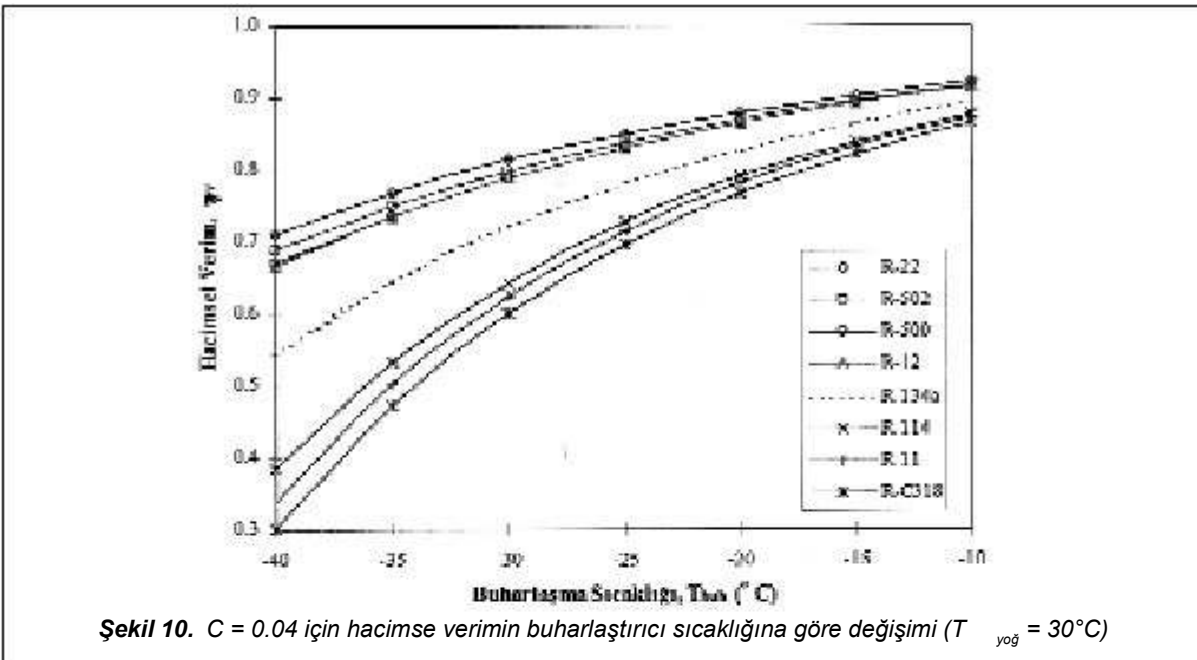


Şekil 8. Özgül kompresör işinin buharlaştırıcı sıcaklığına göre değişimi ( $T_{yoğ} = 30^{\circ}\text{C}$ )

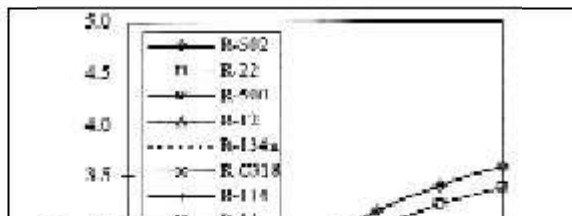
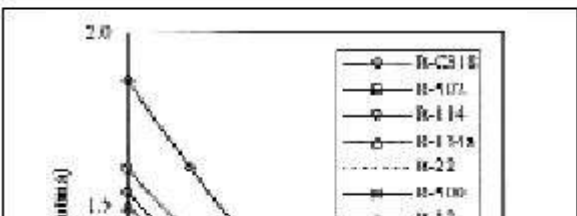


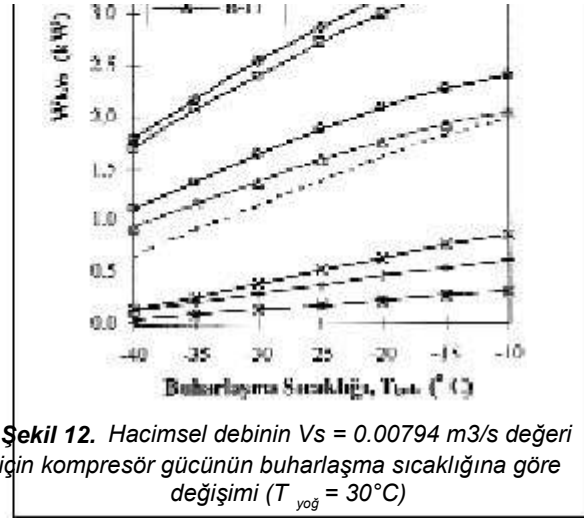
Şekil 9. Özgül kompresör yerdeğiştirmesinin (SCD) buharlaşma sıcaklığına göre değişimi ( $T_{yoğ} = 30^{\circ}\text{C}$ )

arasındaki fark %3'ten az olmak üzere sıralama R-500 en büyük, R-22 en düşük olacak şekil -



Şekil 10.  $C = 0.04$  için hacimse verimin buharlaştırıcı sıcaklığına göre değişimi ( $T_{yoğ} = 30^{\circ}\text{C}$ )





**Şekil 11.** 1 Ton soğutma kapasitesi için gerekli kompresör gücünün buharlaştırıcı sıcaklığına göre değişimi ( $T_{yoğ} = 30^{\circ}\text{C}$ )

**Şekil 12.** Hacimsel debinin  $V_s = 0.00794 \text{ m}^3/\text{s}$  değeri için kompresör gücünün buharlaştırıcı sıcaklığına göre değişimi ( $T_{yoğ} = 30^{\circ}\text{C}$ )

de olmaktadır ve bu üç soğutucu akışkanın basınç oranları R-134a'ya göre daha düşüktür. Basınç oranının yüksek olması kompresörün aşırı ısınmasına ve kaçakların artmasına sebep olur. Ayrıca kompresör çıkış sıcaklığının artması kompresörün ömrünü azaltarak performansının azalmasına yol açar.

Şekil 4'te soğutma tesir katsayılarının; Şekil 5'te de soğutma verimlerinin buharlaşma sıcaklığına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Her ikisinde de sıralama R-11 en yüksek R-C318 en düşük olacak şekildedir. R-12 ile karşılaştırıldığında, R-500'ün STK'sı %0-0.5; R-22'nin STK'sı

%0.25-0.98; R-134a'nin STK'sı %1.96-3.5; R-502'nin STK'sı %7.1-10 daha küçük olmaktadır. Soğutma verimlerindeki farklar da aynı şekilde olmaktadır. Şekil 4'ten görüleceği üzere,  $T_{buh} = -25^{\circ}\text{C}$  için R-C318'in STK değeri 2.96, R-134a'nin STK değeri 3.45 ve R-11'in STK değeri ise 3.82'dir.

İdeal çevrim için ısıtma tesir katsayısı,  $ITK=STK+1$  olduğundan ITK için olan sıralama STK için olan sıralama gibidir.

Şekil 6-8'de sırasıyla özgül buharlaştırıcı yükü, özgül yoğuşturucu yükü ve özgül kompresör işinin, buharlaşma sıcaklığına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Sıralama R-22 en yüksek R-C318 en düşük olacak şekildedir. Sadece Şekil 8 de görüldüğü gibi özgül kompresör işi ile ilgili olan diyagramda R-11 ile R-134a'nın sıralamadaki yeri değişmektedir. R-134a'nın  $q_{buh}$ ,  $q_{yoğ}$  ve  $w_k$  değerleri R-22'ninkinden daha küçük R-500 ve R-12'ninkilerinden daha büyük olmaktadır. R-12 için ise bu değerler R-500'ünkünden daha küçük R-502'ninkinden daha yüksek olmaktadır. Şekil 9'da özgül kompresör yerdeğiştirmesinin (SCD), buharlaşma sıcaklığına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Sıralama R-11 en yüksek R-22 en düşük olacak şekildedir. R-12 için SCD değerleri R-134a'ninkinden daha küçük, R-500, R-502 ve R-22'ninkilerden daha büyük olmaktadır. R-502 için SCD değerleri ise R-12 ve R-500'ünkülerinden daha küçük, R-22'ninkilerden daha büyük olmaktadır. R-12'nin SCD değerleri R-134a'dan %2.3-15.5 daha küçük; R-22'den %63-70 daha büyük olmaktadır. Bu sonuca göre, R-11 kullanan sistemler en büyük kompresörlere; R-22 kullananlar en küçük kompresörlere ihtiyaç duyarlar.

Şekil 10'da ölü hacim oranının  $C = 0.04$  değeri için, hacimsel verimin buharlaşma sıcaklığına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Sıralama R-22 en yüksek R-C318 en düşük olacak şekildedir. Şekilden de görüldüğü gibi R-22, R-502, R-500 ve R-12 üst tarafta bir grup; R-114, R-11 ve R-C318 alt tarafta bir grup oluşturmakta R-134a'da bu iki grup arasında yer almaktadır. R-12 için hacimsel verim değerleri R-22'ninkinden %0.87-6.13 daha küçük, R134a'ninkinden ise % 2.2-22.7 daha büyüktür.

Şekil 11'de 1 ton soğutma yapılması halinde gerekli kompresör gücünün, buharlaşma sıcaklığına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Sıralama R-C318 en yüksek R-11 en düşük olacak şekildedir. R-22, R-500 ve R-12 için olan değerler hemen hemen aynı olup aralarındaki fark %1'den daha küçüktür. R-134a için olan değerler ise R-22 için olan değerlerden %1-3.5 daha büyüktür.



Şekil 12'de ise ölü hacim oranı 0.04, çapı 85 mm, stroku 10 mm ve devir sayısı 1200 d/d ( $V_s=0.00794 \text{ m}^3/\text{s}$ ) olan aynı tip bir pistonlu kompresör içerisinde bu soğutucu akışkanların izantropik sıkıştırılmaları halinde gerekli kompresör gücünün, buharlaşma sıcaklığına bağlı olarak değişimi gösterilmiştir. R-502 ve R-22 için en büyük, R-11 için en küçük değerlerdedir. R-12 için bu değerler, R-502 ve R-22'ye göre daha düşük; R-134a'ya göre daha yüksektir.

Yapılan çalışma karşılaştırılan soğutucu akışkanlar içinde termodinamik açıdan en yüksek soğutma tesir katsayısına sahip olan akışkanın R-11 olduğunu göstermiştir. Daha sonra sırasıyla birbirine çok yakın olarak R-12, R-500 ve R-22 gelmektedir. Bunları az bir farkla R-134a izlemektedir. Son sıralarda da R-114, R-502 ve en düşük R-C318 bulunmaktadır. Soğutma tesir katsayıları arasında sayısal değer olarak çok büyük bir fark görülmemektedir.

Son yıllarda hidroflorokarbonlar (HFC), ozon tabakasına zarar vermemesi nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlardan R-134a'nın performansı, şekil ve yorumlardan detaylı olarak görüleceği gibi, incelenen diğer soğutucu akışkanlarla karşılaştırıldığında genel olarak orta sıralarda yer almaktadır.

## SEMBOLLER

C Ölü hacim oranı  
CFC Kloroflorokarbonlar

$c_{uo}$  Sabit hacimde ideal gaz özgül ısı, J/kg-K veya kJ/kg-K  
D Silindir çapı, m  
h özgül entalpi, J/kg veya kJ/kg  
HCFC Hidrokloroflorokarbonlar  
HFC Hidroflorokarbonlar  
ITK Isıtma tesir katsayısı  
l Strok, m/devir  
.  
m Soğutucu akışkanın kütleli debisi, kg/s  
N Kompresör devir sayısı, devir/dak  
P Basınç, Pa veya kPa  
PDStrok hacmi,  $\text{m}^3/\text{dev}$   
PRBasınç oranı  
q Birim kütle için ısı geçişi, J/kg veya kJ/kg  
R Gaz sabiti, J/kg-K veya kJ/kg-K  
s Özgül entropi, J/kg-K veya kJ/kg-K  
SCD Özgül kompresör yer değiştirmesi,  $\text{m}^3/\text{kJ}$  veya  $\text{m}^3/\text{MJ}$   
STK Soğutma tesir katsayısı  
T Sıcaklık, °C veya K  
u Özgül iç enerji, J/kg veya kJ/kg  
VsHacimsel debi,  $\text{m}^3/\text{s}$   
u Özgül hacim,  $\text{m}^3/\text{kg}$   
 $w_k$  Özgül kompresör işi, J/kg veya kJ/kg

## Yunan Harfleri

h Verim  
r Yoğunluk,  $\text{kg}/\text{m}^3$

## Alt İndisler

buh Buharlaşma veya buharlaştırıcı  
d Doyma  
ff Doymuş sıvı  
ffg Doymuş buhar ve doymuş sıvı özellikleri arasındaki fark  
g Doymuş buhar  
kr Kritik  
o Referans hali  
R Soğutma

TR Ton soğutma  
n Hacimsel  
yoğ Yoğuşma veya yoğuşturucu

#### **KAYNAKLAR**

- ASHRAE Fundamentals Handbook, 1993.
- Kaptan, İ. N., 1988, Soğutucu Akışkan zeliklerini Hesaplayan Bir Program, Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Kaptan, İ. N. ve Derbentli, T., 4-6 Haziran 1997, Performance Comparison of R-125 and R-134a with Some CFCs, 1. Makina Mühendisliği Kongresi MAMKON 97, s. 100-106, İstanbul.
- Khan, S.H. ve Zubair, S.M., 1993, Thermodynamic Analyses of the CFC-12 and HFC-134a Refrigeration Cycles, Energy, V. 18, No. 7, s. 717-726.
- Martin, J.J. ve Hou, Y.C., 1955, Development of an Equation of State for Gases, A.I.Ch.E. Journal, s.142-151.
- Reynolds, W.C., 1979, Thermodynamic Properties in SI; Graphs, Tables and Computational Equations for 40 Substances, Department of Mechanical Engineering, Stanford University.
- Wilson, D.P. ve Basu, R.S., 1988, Thermodynamic Properties of a new stratospherically safe working fluid, Refrigerant 134a, ASHRAE Transactions, c. 94, s. 2095-2118.