

21712.

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR YARDIMIYLA SOĞUTUCU AKISKAN ÖZELİKLERİNİN HESAPLANMASI

VE TERMODİNAMİK TABLO VE DİYAGRAMLARININ HAZIRLANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Yahya DOĞU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28.01.1992

Tezin Savunulduğu Tarih : 21.02.1992

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Cem PARMAKSIZOĞLU

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ahmet KARAKAŞ

Doç. Dr. Murat TUNC

ÖNSÖZ

Geniş bir mühendislik uygulamasına sahip soğutma, ısıtma ve havalandırma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan freon türünden soğutucu akışkanların termodinamik özelliklerinin bilgisayar yardımıyla hesaplanması ve tablo ve diyagramlarının oluşturulması, sistem tasarımlarında gün geçtikçe daha büyük bir kullanım alanına sahip olan bilgisayar kullanımı ve mühendislik eğitimi için oldukça faydalı olacaktır.

Konuyu veren, çalışmalarımı yönlendiren ve uygun bir çalışma ortamı sağlayan Sayın Doç. Dr. Cem PARMAKSIZOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenimim boyunca her türlü desteğini esirgemeyen aileme içtenlikle teşekkür ederim.

Makina Mühendisi
Yahya DOĞU

İSTANBUL,
Ocak 1992

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN TERMODİNAMİK ÖZELİKLERİNİN HESAPLANMASI.....	6
2.1. Kullanılan Yöntem ve Temel Denklemler.....	7
2.2. Kızgın Buhar Bölgesindeki Özelliklerin Hesaplanması.....	11
2.3. Doymuş Sıvı ve Doymuş Buhar Özelliklerinin Hesaplanması.....	21
2.4. Farklı Giriş Özellik Çiftleri İçin Diğer Özelliklerin Hesaplanması.....	25
2.4.1. Newton-Raphson Metodunun Kullanımı.....	26
2.5. Temel Denklemlerin Kısmi Türevleri.....	32
BÖLÜM 3. PROGRAM.....	37
3.1. Programın Genel Yapısı ve Çalışması.....	38
3.2. Kullanılan Altprogramlar.....	46
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	47
KAYNAKLAR.....	53
EKLER.....	54
ÖZGEÇMİŞ.....	103

KULLANILAN SEMBOLLER

T	Sıcaklık (K)
P	Basınç (Pa)
v	Özgül hacim (m^3/kg)
ρ	Yoğunluk (kg/m^3)
u	Özgül iç enerji (J/kg)
h	Özgül entalpi (J/kg)
s	Özgül entropi (J/kg.K)
v_s	Doymuş sıvı özgül hacmi (m^3/kg)
v_b	Doymuş buhar özgül hacmi (m^3/kg)
h_s	Doymuş sıvı özgül entalpisi (J/kg)
h_b	Doymuş buhar özgül entalpisi (J/kg)
s_s	Doymuş sıvı özgül entropisi (J/kg.K)
s_b	Doymuş buhar özgül entropisi (J/kg.K)
c_v	Sabit hacim özgül ısısı (J/kg.K)
c_{vo}	Sabit hacim mükemmel gaz özgül ısısı (J/kg.K)
P_d	Doyma basıncı (Pa)
T_d	Doyma sıcaklığı (K)
v_k	Kritik özgül hacim (m^3/kg)
T_k	Kritik sıcaklık (K)
P_k	Kritik basınç (Pa)
h_k	Kritik özgül entalpi (J/kg)
s_k	Kritik özgül entropi (J/kg.K)
T_o	Referans sıcaklık (K)
u_o	Referans sıcaklıktaki özgül iç enerji (J/kg)
s_o	Referans sıcaklıktaki entropi (J/kg.K)
R	Gaz sabiti (J/kg.K)
M	Mol kütlesi (kg/kmol)
$b, A_i, B_i, C_i, k, c, \alpha$	Hal denklemindeki sabit katsayılar
G_i	Özgül ısı denklemindeki sabit katsayılar
F_i, γ	Buharlaşma eğrisi denklemindeki sabit katsayılar
D_i	Doymuş sıvı eğrisi denklemindeki sabit katsayılar
W_i, X_i	Sıcaklık fonksiyonları
Y_i, Z_i, YV, ZV	Özgül hacim fonksiyonları

ALT İNDİSLER

k	Kritik hal
s	Sıvı hali
b	Buhar hali
o	Referans hali
d	Doyma hali
v	Sabit hacim
ρ	Sabit yoğunluk
T	Sabit sıcaklık



ÖZET

Önemli mühendislik uygulamalarından olan ve birçok alanda ihtiyaç duyulan soğutma, ısıtma ve havalandırma sistemlerinde Freon adı verilen halojenli hidrokarbonlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Hem bu sistemlerin dizayn ve tasarımı hem de mühendislik eğitimi bu soğutucu akışkanların karakteristik değerlerinin ve termodinamik özelliklerinin bilinmesi gereklidir. Sistem tasarımlarında gittikçe artan bir uygulama alanına sahip bilgisayar kullanımı için akışkanların termodinamik özelliklerinin de bilgisayar yardımıyla hesaplanması büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Ayrıca mühendislik eğitimi ihtiyaç duyulan termodinamik tablo ve diyagramların yeterli ölçüde mevcut olması anlaşılabilirlik açısından faydalı olmaktadır.

Bu çalışmada, Reynolds[1] tarafından verilen dört özellik bağıntısı ve termodinamik bağıntılar kullanılarak soğutucu akışkanların termodinamik özelliklerinin hesabı, tablo ve diyagramlarının oluşturulması ve çevrim çözümlemesine yardımcı olmak amacıyla çevrim çizimi yapılması için bir program hazırlanmıştır.

Basic dilinde hazırlanan bu program herbir akışkan için çalıştırılmış ve termodinamik tablo ve diyagramlarla[1] karşılaştırılarak doğruluğu kontrol edilmiştir. İlerdeki çalışmalara yardımcı olması düşüncesiyle programa ait detaylı açıklamalar yapılmış ve bir kaynak oluşturması açısından herbir akışkan için program kullanılarak çizimi yapılan $\ln P-h$ ve $T-s$ diyagramları verilmiştir.

COMPUTER AIDED
CALCULATION OF THERMODYNAMIC PROPERTIES AND
FORMATION OF TABLES AND DIAGRAMS OF REFRIGERANTS

SUMMARY

Halocarbon refrigerants are used widely in the cooling, heating and air-conditioning systems some of important engineering applications and needed in many departments. In both the design of these systems and engineering education, characteristics and thermodynamic properties of these refrigerants must be known. It will be very useful to calculate these properties by a computer playing a great role in the system designs from day to day. And also in engineering education, it is useful for understanding to be available enough thermodynamic tables and diagrams for any refrigerants.

In this study, by using four property equations developed by Reynolds[1] and thermodynamic relations, a computer program has been prepared calculating the thermodynamic properties of refrigerants F11, F12, F13, F14, F22, F23, F114, FC-318, F500, F502 and forming the tables and diagrams and drawing cooling cycles on $\ln P$ - h and T - s diagrams.

Thermodynamic properties, mostly considered in the analysis of cooling cycle are temperature, pressure, specific volume, internal energy, enthalpy and entropy. All these properties are the function of each other and define the state of a substance. It is known that the state of a simple compressible substance is completely specified by two independent, intensive properties. Therefore all the properties of a substance at any state can be calculated once two independent, intensive properties are available. Only three of the properties given above can be directly measured; temperature, pressure, specific volume. However, the important properties in engineering such as internal energy, enthalpy, entropy cannot be measured by using any experimental methods. The calculation of these properties is only possible by developing some thermodynamic relations between these properties and measurable properties by using thermodynamic relations and property equations given in the literature by many researchers. There are many ways developed for this aim. The way used in the study has been explained below:

Four basic equations used in the program were formed and their coefficients were determined by Reynolds[1]

after compiling the empirical data of many researchers. These four equations are:

1) Equation of State (P-v-T Relations):

$$P=P(T,v)=\frac{RT}{v-b}+\sum_{i=2}^5\frac{1}{(v-b)^i}\left\{A_i+B_iT+C_ie^{-kT/T_k}\right\} + \frac{A_\sigma+B_\sigma T+C_\sigma e^{-kT/T_k}}{e^{\alpha v}(1+ce^{\alpha v})} \quad (1)$$

2) Ideal Gas Specific Heat Equation:

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

3) Saturation Pressure Equation:

i) F12 icin,

$$\ln P_d = F_1 + \frac{F_2}{T} + F_3 \ln T + F_4 T \quad (3-a)$$

ii) F23 icin,

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

iii) F11, F13, F14, F22, F114, FC-318, F500, F502 icin

$$\ln P_d = F_1 + \frac{F_2}{T} + F_3 \ln T + F_4 T + F_5 \frac{\gamma-T}{T} \ln(\gamma-T) \quad (3-c)$$

4) Saturated Liquid Equation:

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

$$X = 1 - \frac{T}{T_k} \quad (4-a)$$

In the above equations, symbols are defined as follows;

- T : Temperature (K)
- P : Pressure (Pa)
- v : Specific volume (m³/kg)

c_{vo} : Specific heat at constant volume for an ideal gas (J/kg.K)
 P_d : Saturation pressure (Pa)
 ρ_s : Saturated liquid density (kg/m³)
 T_k : Critical temperature (K)
 R : Gas constant (J/kg.K)
 $A_i, B_i, C_i, G_i, D_i, F_i, b, k, \alpha, c, \gamma$: Empirical constant

Calculation of properties in the superheated vapor region is done as follows: Two additional equations for calculating the internal energy and entropy are developed firstly. The internal energy is usually defined as the function of T and v , $u=u(T,v)$. By taking its total differential,

$$du = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v dT + \left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_T dv \quad (5)$$

Using the definition of specific heat at constant volume c_v ;

$$du = c_v dT + \left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_T dv \quad (6)$$

An important thermodynamic relationship, derived in most thermodynamic books[2,3,4], is

$$\left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_T = T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v - P \quad (7)$$

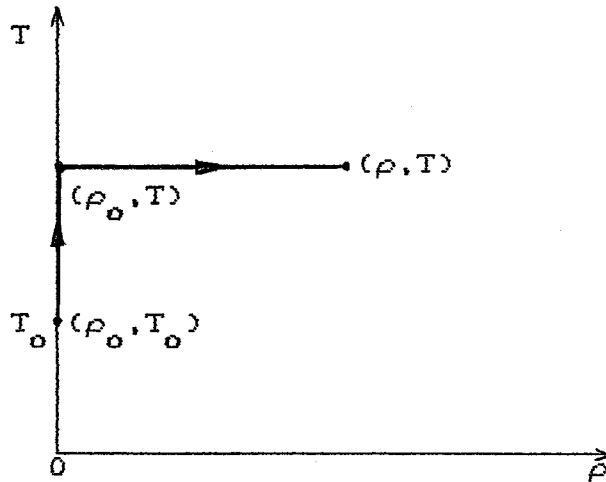
Substituting Eqn. (7) in Eqn. (6)

$$du = c_v dT - \left[P - T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v \right] dv \quad (8)$$

Rewriting the last equation with respect to specific volume $v=1/\rho$, $dv=d\rho/\rho^2$

$$du = c_v dT + \frac{1}{\rho^2} \left[P - T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_\rho \right] d\rho \quad (9)$$

The change of internal energy of a simple compressible substance is associated with a change of state from (ρ_o, T_o) to (ρ, T) , shown in Figure 1. Since internal energy, u , is a property and total differential, the integration of it is independent from the integration way. So the integration of this equation can be taken first at constant density, than at constant temperature by considering the equation of state and the ideal gas specific heat equation;



Sekil 2.1.1. The integration way of calculation of the differences of internal energy and enthalpy by using experimental data

$$u = \int_{T_0}^T c_{vo}(T) dT + \int_{\rho_0}^{\rho} \frac{1}{\rho^2} \left[P - T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{\rho} \right] d\rho + u_0 \quad (10)$$

where, u : internal energy (J/kg)
 T_0 : reference temperature (K)
 u_0 : reference internal energy at reference state (J/kg)
 ρ : density (kg/m³)

This equation can also be written with respect to specific volume replacing density as the variable;

$$u = \int_{T_0}^T c_{vo}(T) dT + \int_{\infty}^v \left[P - T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v \right] dv + u_0 \quad (11)$$

The enthalpy property is calculated by using a simple thermodynamic relationship,

$$h = u + Pv \quad (12)$$

And the entropy can be determined from the Gibbs equation[2],

$$Tds = du + PdV \quad (13)$$

$$ds = \frac{1}{T} du + \frac{P}{T} dv \quad (14)$$

Substituting Eqn.(9) in Eqn. (14) and considering $v=1/\rho$,

$$dv = d\rho/\rho^2$$

$$ds = \frac{c_v}{T} dT - \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right) \rho d\rho \quad (15)$$

After adding and subtracting a term $Rd\rho/\rho$ from this equation, if it is integrated in the manner shown Fig.1,

$$s = \int_{T_0}^T \frac{c_{vo}(T)}{T} dT - R \ln \rho + \int_{\rho_0}^{\rho} \frac{1}{\rho^2} \left[\rho R - \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right) \rho \right] d\rho + s_0 \quad (16)$$

where, s_0 : reference entropy at reference state (J/kg.K)

Thus for a given temperature and specific volume, the properties u , h , s in the superheated vapor region are calculated by using these developed equations above. These main equations were used in the program. It is seen that all equations are the function of temperature and specific volume. When two different properties other than T , v are given, the equations must be written with respect to the given properties to calculate the other properties. It is highly difficult to obtain them for any given two properties because of being some logarithmic, exponential and total terms in those equations. For this aim Newton-Raphson method[5] was used by derivating these equations. Detailed explanations were given in Section 3.

Calculation of thermodynamic properties in the saturation region proceeds as follows: Saturation temperature, T_d or saturation pressure, P_d is given to calculate the saturation properties. If T_d is known, P_d is calculated from the saturation pressure equation (3) directly. If P_d is given the calculation of T_d is done by using the Eqn. (3) and the partial derivative of it with respect to T_d . And by using these saturation values T_d , P_d the properties of saturated vapor v_b , h_b , s_b can be found by following the procedure of the superheated vapor properties calculation. And saturated liquid specific volume v_s is calculated from the saturated liquid equation. Enthalpy and entropy of saturated liquid, h_s , s_s are calculated by using the Clapeyron

equation[2],

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_d = \frac{s_b - s_s}{v_b - v_s} = \frac{h_b - h_s}{T(v_b - v_s)} \quad (17)$$

where, $(dP/dT)_d$ is calculated from saturation pressure equations (3). So, from Clapeyron equation the enthalpy of saturated liquid is

$$h_s = h_b - T(v_b - v_s)\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_d \quad (18)$$

and the entropy of saturated liquid is

$$s_s = s_b - \frac{h_b - h_s}{T} \quad (19)$$

Thus all thermodynamic properties in the regions of superheated vapor and saturation are calculated by using these developed equations.

The program consists of six subparts and many subroutines directed by a main menu. The parts of main menu enables to use the program easily and give the definition of special aims from the most general aim. When the program is run, firstly the refrigerant is choosen from the subroutine "Akışkan Seçimi". And for choosen refrigerant, the coefficients of equations are read from the data directory and the name of directories will be used by the "Diyagram" part are determined in the subroutine of "Katsayılar". After coming to the main menu, all commands and the running of the program are directed by this part. The six parts of the main menu are:

1-Hesaplama	: Calculation
2-Tablo	: Tables
3-Diyagram	: Diagrams
4-Diyagram ve çevrim çizimi	: Diagrams&Drawing cycle
5-Yeni akışkan seçimi	: New refrigerant
6-Çıkış	: Exit

The contents and running of these parts are summarized below:

1-Hesaplama : After determining the entrance values, the properties in the superheated vapor and saturation regions are calculated in this part. It returns again to the "Hesaplama" part for new values after showing the results on the screen.

2-Tablo : This part enables to prepare tables in the three common form. These tables are prepared due to the changing of saturation temperature, saturation pressure and temperature and pressure.

3-Diyagram : For any refrigerants the diagrams of $\ln P-h$ and $T-s$ or both of them can be drawn on the screen by using this part.

4-Diyagram ve çevrim çizimi : This part allows to draw cooling cycle on the $\ln P-h$ and $T-s$ diagrams. The definition of characteristic properties of cooling system is done manually.

5-Yeni akışkan seçimi : By using this part, it is possible to choose a new refrigerant and to use the program for it, without exiting the program.

6-Çıkış : Exit from the program

All of these parts run effectively and interactively by calling the prepared subroutines. The flow chart of the program is given in appendix.

The program was run for each refrigerant and compared with the tables and diagrams given by Reynolds[1] prepared by using the same equations.

For the aim of helping to the studies in the future, equations, coefficients of equations, and variables used in the program and flow chart are given in appendix. In addition, $\ln P-h$ and $T-s$ diagrams for each refrigerant have been included to appendix.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Soğutma, ısıtma ve havalandırma sistemlerinde Freon türü soğutucu akışkanlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerin dizayn ve tasarımında yapılan termodinamik çevrim analizi için akışkanların termodinamik özelliklerinin bilinmesi gerekir. Bir maddenin hali bu özelliklerle belirtilir ve tarif edilir. Çevrim analizinde dikkate alınan özellikler genellikle basınç, sıcaklık, özgül hacim, entalpi, entropi ve özgül ısılar olmaktadır. Bilindiği gibi bu değerler birbirlerinin fonksiyonudurlar ve maddenin halinin bilinmesi için en az iki bağımsız özeliğe ihtiyaç vardır. Diğer bütün özellikler, özellik bağıntıları yardımıyla hesaplanabilir. Özellik bağıntıları analitik bağıntılar, termodinamik yüzeyler, diyagramlar ve tablolar şeklinde literatürde mevcuttur. Termodinamik yüzey, diyagram ve tablolar analitik bağıntılardan türetilmiştir.

Günümüzde özelliklerin bulunması için, tablo ve diyagramlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürde mevcut olan kaynakların yetersiz oluşu, tüm soğutucu akışkanlar için hassas ve her bir özellik çiftine göre düzenlenmiş tablo ve diyagramların bulunmayışı ve en önemlisi dizayn ve tasarımlarda gittikçe yaygın hale gelen bilgisayar kullanımı için uygun olmayışları sebebiyle sistem tasarımlarında bazı güçlüklerle karşılaşılmaktadır. Gerek mühendislik eğitiminde gerekse sistem tasarımlarında, çevrim hesaplamaları yapılırken kullanılan tablolarda ara değerlerin bulunmayışı sebebiyle enterpolasyon için zaman ihtiyacı ve yapılan enterpolasyonun sonucu olarakta hassasiyetin azalması karşılaşılan güçlüklerden biridir. Bunun yanı sıra mühendislik açısından asıl önemli olan durum ise, mevcut

olan tablo ve diyagramların yetersizliği sonucu değişik soğutucu akışkanlar için soğutma tesir katsayısı STK, ısıtma tesir katsayısı ITK, verim η gibi çevrim karakteristiklerinin bilinmemesi ve istenen şartlara göre en uygun soğutucu akışkan seçiminin yapılamamasıdır. Özellikle bilgisayar uygulamalarının yaygınlaştığı günümüzde bu tür güçlüklerin giderilmesi ve gerekli algoritmaların kurulması bir ihtiyaç haline gelmiştir.

Bu çalışmada hazırlanan bilgisayar programı sayesinde freon türü soğutucu akışkanların termodinamik özellikleri hassas olarak ve kısa zamanda hesaplanabilmekte, bu soğutucu akışkanlara ait termodinamik tablo ve diyagramlar oluşturulabilmekte ve LnP-h ve T-s diyagramları üzerinde çevrim çizimi yapılabilmektedir. Hazırlanan program, genel amaçlı bir dizayn programı için bir alt program olarakta kullanılabilir.

Önceden de belirtildiği gibi termodinamik özellikler, özellik bağıntıları kullanılarak hesaplanmaktadır. Doyma ve kızgın buhar bölgesindeki özelliklerin hesaplanması için şu dört temel denkleme ihtiyaç vardır;

- 1) $P=P(T,v)$: Hal denklemi
- 2) $c_{vo}=c_{vo}(T)$: Mükemmel gaz için özgül ısı denklemi
- 3) $P_d=P_d(T)$: Buharlaşma eğrisi denklemi
- 4) $\rho_s=\rho_s(T)$: Doymuş sıvı eğrisi denklemi

Birçok araştırmacı tarafından deneyler yapılmış ve birçok formda bu özellik bağıntıları için denklemler geliştirilmiştir. Hazırlanan programda bilgisayar uygulaması için uygun olması sebebiyle Reynolds[1] tarafından verilen denklem ve katsayılar kullanılmıştır. Bu denklemlerdeki katsayılar, kritik noktada sabit sıcaklıkta basıncın özgül hacime göre birinci ve ikinci türevlerinin sıfır olması gibi bazı koşullarla birlikte deneysel verilere (çoğunlukla basınç, özgül hacim ve sıcaklık değerlerine) en küçük kareler metoduyla eğri uydurulmasıyla elde edilmişlerdir. Yukarıda belirtilen dört temel denklem ve termodinamik bağıntılar

kullanılarak doyma ve kızgın buhar bölgesindeki bütün özellikler hesaplanabilir.

Yapılan çalışmada öncelikle, termodinamik özelliklerin hesaplanmasında kullanılan yöntem ayrıntılı olarak açıklanmıştır (Bölüm 2). Bu yöntemde, ilk olarak, verilen özellik bağıntılarına ilaveten ölçülemeyen entalpi, iç enerji ve entropi özellik değerlerinin hesabı için özellik bağıntıları ve termodinamik bağıntılar kullanılarak iki tane daha denklem elde edilmiştir. Bu elde edilen denklemler de yine sıcaklık ve özgül hacmin fonksiyonu şeklindedirler. Özetle, özelliklerin hesabında kullanılan ve program için temel teşkil eden denklemler şunlardır [2,3,4]:

$$\begin{aligned} P &= P(T, v) & c_{vo} &= c_{vo}(T) \\ u &= u(T, v) & P_d &= P_d(T) \\ h &= u + Pv & \rho_s &= \rho_s(T) \\ s &= s(T, v) \end{aligned}$$

Görüldüğü gibi bu denklemler kullanılarak giriş özellik çiftinin T , v olması durumunda diğer bütün özellikler kolaylıkla hesaplanabilir. Bu denklemlerde logaritmik, üssel, toplam ifadelerinin bulunması farklı giriş özellik çiftlerine göre elde edilmelerini hayli zorlaştırmaktadır. Bu sebeple farklı giriş özellik çiftleri için diğer özelliklerin hesaplanmasında nümerik yöntemlerin kullanılması yoluna gidilmiştir. Bu amaç için (başlangıç değeri çok uzakta olsa) çok hızlı bir yaklaşıma sahip olan Newton-Raphson[5] metodu kullanılmıştır.

Hazırlanan programın azçok konu hakkında bilgisi olan herkes tarafından kullanılabilmesi için kullanıcıyı bilinçli olarak yönlendiren menüler hazırlanmıştır. Bu menüler programa bir paket program olarak çalışma özelliği kazandırmıştır. Programın ilk çalışmasıyla akışkan seçimi yapıldıktan sonra ana menüye dallanılmaktadır. Ve bundan sonra programın bütün çalışması altı esas bölümden oluşan bu ana menü üzerinden

kontrol edilmektedir. Bu altı esas bölüm :

- 1-Hesaplama,
- 2-Tablo,
- 3-Diyagram,
- 4-Diyagram ve çevrim çizimi,
- 5-Yeni akışkan seçimi,
- 6-Çıkış

bölmeleridir. Bu esas bölümler, yine bazı alt bölümlere dallanarak, en genel durumdan özel bir durumun tanımlamasının yapılmasını sağlamaktadır. Bu esas bölümlerin içerikleri aşağıdaki gibidir :

1-Hesaplama bölümü, kızgın buhar ve doyma özellikleri bölümlerine giderek gerekli giriş değerleri verildikten sonra gerekiyorsa iterasyonları yaparak sonuca ulaşır. Sonuç görüntülendikten sonra yeni değer girişi için yine hesaplama bölümüne döndürülür.

2-Tablo bölümünde ise, en yaygın olarak kullanılan üç farklı formda tablo hazırlama imkanı sağlanmıştır. Bunlar; doyma sıcaklığının, doyma basıncının ve basınç ve sıcaklığın değişimine göre düzenlenmiş tablolardır. Eğer istenirse farklı özellik değerleri için çok basit bir yönetim programıyla tablolar hazırlamak mümkündür.

3-Diyagram bölümünde, $\ln P-h$, $T-s$ ve her iki diyagramında aynı anda görüntülenmesi yapılabilmektedir.

4-Diyagram ve çevrim çizimi bölümünde ise, yine $\ln P-h$, $T-s$ ve her ikisi üzerinde aynı anda çevrim çizimi yapılabilmektedir.

5-Yeni akışkan seçimi bölümü programdan çıkılmadan programın yeni bir akışkan için kullanımını sağlamaktadır.

6-Çıkış

Bütün bu bölümler hazırlanan altprogramları

çağırarak etkin ve etkileşimli bir şekilde çalışmaktadır. Programın akış şeması, kullanılan altprogramlar Bölüm 3' te ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Program herbir akışkan için denenmiş ve Reynolds[1]'un aynı denklemleri kullanarak hazırladığı tablo değerleri ve diyagramlarla karşılaştırılarak doğruluğu kontrol edilmiştir. Farklı özellik giriş çiftleri için programdan elde edilen sonuçların Reynolds'un elde ettiği değerlerle karşılaştırması sonuçlar bölümünde tablo halinde verilmiştir. Programdan elde edilen değerlerin Reynolds tarafından verilen değerlerle çok küçük farklarla hemen aynı olduğu görülmüştür. Ayrıca kullanılan temel denklemler, hesaplama yöntemi ve referans sıcaklıkları farklı alınarak düzenlenmiş çeşitli tablolarlada [1, 6, 7] karşılaştırmalar yapılarak karşılaştırma değerleri sonuçlar bölümünde verilmiştir.

İlerde yapılacak çalışmalara yardımcı olması amacıyla programda kullanılan denklemler, denklem katsayıları, değişkenler ve programın akış şeması ekler bölümünde verilmiştir. Ayrıca herbir akışkan için $\ln P-h$ ve $T-s$ diyagramlarında bir kaynak oluşturması amacıyla yine ekler bölümüne dahil edilmiştir.

BÖLÜM 2. SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN TERMODİNAMİK ÖZELİKLERİNİN HESAPLANMASI

Kimyasal terkibi itibariyle homojen ve değişmez olan, üzerinde çeşitli dış etkilerin bulunmadığı, sıkıştırma ve genişlemenin söz konusu olduğu maddeye basit sıkıştırılabilir saf madde denilmektedir. Saf maddelerin hali termodinamik özelliklerle belirlenir. Bu termodinamik özelliklerden bazıları; basınç, sıcaklık, özgül hacim, iç enerji, entalpi, entropi ve özgül ısılardır. Saf maddenin halinin bilinmesi için bu bağımsız termodinamik özelliklerden en az iki tanesinin bilinmesi gerekir. Saf maddeye ait bu termodinamik özellikler birçok mühendislik uygulamasında kullanılmaktadır. Bu belirtilen özelliklerden sadece basınç, sıcaklık ve özgül hacim doğrudan ölçülebilmektedir. Özgül ısıların düşük basınçlardaki değerlerindeki dolaylı olarak ölçümü yapılabilmektedir. Buna karşılık uygulama açısından asıl önemli olan maddenin iç enerji, entalpi ve entropi gibi özelliklerinin ölçümünün deneysel yollarla yapılması söz konusu değildir. Bu özelliklerin hesaplanması ancak termodinamik bağıntılar kullanılarak, bu özellikler ile maddenin ölçülebilir özellikleri arasında kurulan bağıntılar sayesinde olmaktadır. Bu amaç için kullanılan birçok yöntem ve geliştirilmiş birçok bağıntı mevcuttur.

Bu çalışmada kullanılan yöntem, temel denklemler ve bu temel denklemler yardımıyla geliştirilen bağıntılar aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır. İç enerji, entalpi ve entropinin hesabı için geliştirilen denklemlerde kullanılan termodinamik bağıntılar hakkında ayrıntılı bilgi kaynaklarda[2,3,4] mevcuttur.

2.1. Kullanılan Yöntem ve Temel Denklemler

Basit sıkıştırılabilir saf maddelerin termodinamik özellikleri arasında mevcut olan bağıntılara özellik bağıntıları denilmektedir. Bu özellik bağıntılarının tesbiti için birçok deneyler yapılmış ve birçok araştırmacı bu deneysel sonuçlar üzerinde çalışarak maddenin ölçülebilir özellikleri arasındaki bağıntıları elde etmeye çalışmışlar ve bunları fonksiyonel olarak ifade etmişlerdir. Hem içerdikleri özelliklerin hesabında kullanılacak olan hemde iç enerji, entalpi ve entropinin hesabı için temel oluşturan esas dört özellik bağıntısı Reynolds[1] tarafından şu şekilde verilmiştir:

1) Hal denklemi : $P=P(T,v)$

$$P=P(T,v)= \frac{RT}{v-b} + \sum_{i=2}^5 \frac{1}{(v-b)^i} \left[A_i + B_i T + C_i e^{-kT/T_k} \right] + \frac{A_6 + B_6 T + C_6 e^{-kT/T_k}}{e^{\alpha v} (1 + ce^{\alpha v})} \quad (2.1.1)$$

2) Mükemmel gaz özgül ısı denklemi : $c_{vo} = c_{vo}(T)$

$$c_{vo} = c_{vo}(T) = \sum_{i=1}^4 G_i T^{i-1} + G_5 / T^2 \quad (2.1.2)$$

3) Buharlaşma eğrisi denklemi : $P_d = P_d(T)$

i) F12 için,

$$\ln P_d = F_1 + \frac{F_2}{T} + F_3 \ln T + F_4 T \quad (2.1.3-a)$$

ii) F23 için,

$$\ln P_d = F_1 + \frac{F_2}{T} + F_3 \ln T + F_4 T + F_5 T^2 + F_6 T^3 \quad (2.1.3-b)$$

iii) F11, F13, F14, F22, F114, FC-318, F500, F502

için

$$\ln P_d = F_1 + \frac{F_2}{T} + F_3 \ln T + F_4 T + F_5 \frac{\gamma - T}{T} \ln(\gamma - T) \quad (2.1.3-c)$$

4) Doymuş sıvı eğrisi denklemi : $\rho_s = \rho_s(T)$

$$\rho_s = \sum_{i=1}^5 D_i X^{(i-1)/3} + D_6 X^{1/2} + D_7 X^2 \quad (2.1.4)$$

$$X = 1 - \frac{T}{T_k} \quad (2.3.4-a)$$

Burada;

T : Sıcaklık (K)

P : Basınç (Pa)

v : Özgül hacim (m^3/kg)

c_{vo} : Sabit hacimde mükemmel gaz özgül ısısı (J/kgK)

P_d : Doyma basıncı (Pa)

ρ_s : Doymuş sıvı yoğunluğu (kg/m^3)

T_k : Kritik sıcaklık (K)

R : Gaz sabiti (J/kg.K)

$A_i, B_i, C_i, G_i, D_i, F_i, b, k, \alpha, c, \gamma$: Sabit katsayılar

dır.

Bu dört temel denklem ve termodinamik bağıntılar kullanılarak u, h, s değerleri hesaplanır. Hesaplama yöntemleri ayrıntıda farklılık gösterebilir. Genelinde benzerdir.

Doymuş sıvı ve doymuş buhar özelliklerinin hesaplanabilmesi için soğutucu akışkan ile ilgili yukarıdaki dört özellik bağıntısının bilinmesi gerekir. Kızgın buhar bölgesindeki özelliklerin hesabı için ise $P=P(T,v)$ ve $c_{vo}=c_{vo}(T)$ özellik bağıntılarının bilinmesi yeterlidir.

Maddenin herhangi bir haline ilişkin özelliklerin hesabı için önce bir başlangıç sıcaklığı seçilir. Bu başlangıç sıcaklığında genellikle doymuş sıvı hali

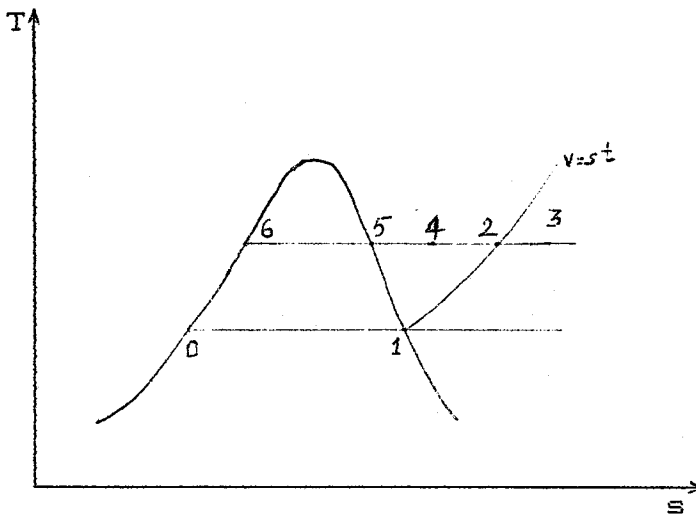
(doymuş buharda olabilir) referans hal olarak alınır. Ve bu haldeki doymuş sıvının entalpisi (veya iç enerjisi) ve entropisi sıfır olarak kabul edilir. Özelliklerin hesaplanmasında şu adımlar takip edilir (Şekil 2.1.1) :

- Önce seçilen referans sıcaklığı, T_0 , için $P_d = P_d(T)$ buharlaşma eğrisi denklemi kullanılarak doyma basıncı P_d hesaplanır.

- Daha sonra bu bilinen basınç ve sıcaklık değerleri kullanılarak 1 noktasındaki doymuş buharın özgül hacmi v_{b1} , $P=P(T,v)$ hal denkleminde bulunur.

- Ayrıca T_1 sıcaklığındaki doymuş sıvı özgül hacmi v_{s0} , doymuş sıvı eğrisi denklemi $v_s = 1/\rho_s(T)$ yardımıyla hesaplanır.

- 1 noktasındaki doymuş buharın entalpisi, 0 noktasındaki doymuş sıvının entalpisi sıfır olarak alındığından buharlaşma entalpisine eşit olacaktır. Bu noktaya ait entalpi ve entropi değerleri Clapeyron denklemi[2] kullanılarak hesaplanabilir. Şöyle ki; 0-1 noktaları için Clapeyron denklemi yazılırsa,



Şekil 2.1.1. Deneysel veriler kullanılarak iç enerji ve entalpi farklarının hesaplanmasında izlenen yol

$$\left(\frac{dP}{dT}\right)_d = \frac{h_{b1} - h_{s0}}{T_1 (v_{b1} - v_{s0})} = \frac{s_{b1} - s_{s0}}{v_{b1} - v_{s0}} \quad (2.1.5)$$

Burada $(dP/dT)_d$ değeri akışkana ait buharlaşma eğrisi denklemi türetilerek bulunur. Böylece (2.1.5) denkleminde,

$$h_{b1} = h_{s0} + T \left(\frac{dP}{dT}\right)_d (v_{b1} - v_{s0}) \quad (2.1.6)$$

$$s_{b1} = s_{s0} + \left(\frac{dP}{dT}\right)_d (v_{b1} - v_{s0}) \quad (2.1.7)$$

denklemleri elde edilir. Burada $h_{s0}=0$ ve $s_{s0}=0$ olarak kabul edilmiştir. Böylece bu denklemlerden 1 noktasındaki doymuş buharın entalpi ve entropisi de hesaplanmış olur.

- Kızgın buhar bölgesindeki, örneğin 2 ve 4 noktalarındaki özellikler önce $v=st$ eğrisi sonra $T=st$ eğrisi izlenerek hesaplanabilir. Bu noktalara değişik yollardan ($P=st$) ulaşarakta özelliklerin hesaplanması mümkündür. 2 ve 4 noktalarının özelliklerinin hesaplanması için kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir. Bu denklemlerin çıkarılması takip eden bölümde ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

$$(u_2 - u_1)_v = \int_1^2 c_v dT \quad , \quad (u_4 - u_2)_T = \int_2^4 \left[P - T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v \right] dv$$

$$(s_2 - s_1)_v = \int_1^2 c_v \frac{dT}{T} \quad , \quad (s_4 - s_2)_T = \int_2^4 \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v dv$$

Görüldüğü gibi her bir haldeki özelliklerin hesabı seçilen referans sıcaklığa bağlı olarak yapılmaktadır. Aşağıda yöntemin ayrıntıları ve bu çalışmada izlenen yol verilmiştir.

2.2. Kızgın Buhar Bölgesindeki Özelliklerin Hesabı

Kullanılan yöntemde basit sıkıştırılabilir saf maddeye ait kızgın buhar bölgesindeki özelliklerin hesaplanabilmesi için iki özellik bağıntısı gereklidir. Bunlar :

1) Hal denklemi

$$P=P(T,v)$$

2) Sabit hacimde mükemmel gaz özgül ısı denklemi

$$c_{vo} = c_{vo}(T)$$

Diğer bütün özellikler bu iki özellik bağıntısı ve termodinamik bağıntılar kullanılarak sıcaklık ve özgül hacmin fonksiyonu olarak elde edilebilirler. Freon türünden F11, F12, F13, F14, F22, F23, F114, FC-318, F500 ve F502 soğutucu akışkanları için Reynolds[1] tarafından verilen denklemler şu şekildedir :

$$P=P(T,v) = \frac{R T}{v-b} + \sum_{i=2}^5 \frac{1}{(v-b)^i} \left[A_i + B_i T + C_i e^{-kT/T_k} \right] + \frac{A_\sigma + B_\sigma T + C_\sigma e^{-kT/T_k}}{e^{\alpha v} (1 + c e^{\alpha v})} \quad (2.2.1)$$

$$c_{vo} = c_{vo}(T) = \sum_{i=1}^4 G_i T^{i-1} + G_5 / T^2 \quad (2.2.2)$$

Bu özellik bağıntılarından faydalanarak ve termodinamik bağıntılar kullanılarak iç enerji, entalpi ve entropinin hesabı için gerekli olan denklemlerin elde edilişi aşağıda açıklanmıştır.

İç Enerji ve Entalpinin Hesabı:

Basit sıkıştırılabilir saf bir madde için iç enerji genellikle sıcaklık ve özgül hacmin bir fonksiyonu olarak ifade edilir.

$$u=u(T,v) \quad (2.2.3)$$

Bu ifadenin yani iç enerjinin tam diferansiyeli alınır;

$$du = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v dT + \left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_T dv \quad (2.2.4)$$

elde edilir. Sabit hacimdeki özgül ısı tanımından

$$du = c_v dT + \left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_T dv \quad (2.2.5)$$

şeklinde yazılır. Termodinamiğin birinci ve ikinci kanunu yardımıyla elde edilen aşağıdaki termodinamik bağıntı[2] kullanılarak,

$$du = Tds - Pd v \quad (2.2.6)$$

$$\left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_T = T \left(\frac{\partial s}{\partial v} \right)_T - P \quad (2.2.7)$$

ifadesi elde edilir. Aşağıda verilen Maxwell bağıntısı[2] (2.2.7)'de yerine yazılırsa :

$$\left(\frac{\partial s}{\partial v} \right)_T = \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v \quad \text{Maxwel Bağıntısı} \quad (2.2.8)$$

$$\left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_T = T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v - P \quad (2.2.9)$$

denkleme ulaşılır. (2.2.9) denklemi (2.2.5)'te yazılarak

$$du = c_v dT - \left[P - T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v \right] dv \quad (2.2.10)$$

Görüldüğü gibi eğer sabit sıcaklıkta bir hal değişimi gerçekleşiyorsa iç enerji değişimi ;

$$du_T = - \left[P - T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v \right] dv \quad (2.2.11)$$

olur. Eğer hacim sabit kalıyorsa, iç enerji değişimi,

$$du_v = c_v dT \quad (2.2.12)$$

dir.

(2.2.10) denklemi yoğunluğa bağlı olarak yazılırsa

$$v = \frac{1}{\rho} \quad dv = -\frac{1}{\rho^2} d\rho \quad (2.2.13)$$

$$du = c_v dT + \frac{1}{\rho^2} \left[P - T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_\rho \right] d\rho \quad (2.2.14)$$

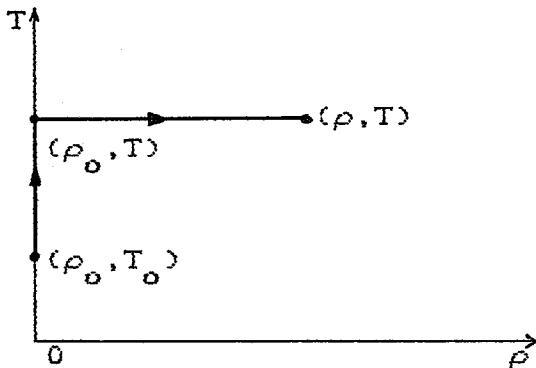
elde edilir. İç enerjinin hesabı için bu denklemin integralinin alınması gerekir. u bir özellik olduğu için du tam diferansiyeldir ve integrali yoldan bağımsızdır. Bu nedenle yukarıdaki denklemin integrali Şekil 2.2.1'de görüldüğü gibi önce sabit sıfır yoğunlukta T_o 'dan T 'ye kadar, sonra sabit T sıcaklığında $\rho=0$ 'dan ρ 'ya kadar alınabilir. Yoğunluğun sıfır olması durumunda (mükemmel gaz hali) c_v , c_{vo} olarak gösterilir. Böylece iç enerji ifadesi,

$$u = \int_{T_o}^T c_{vo}(T) dT + \int_0^\rho \frac{1}{\rho^2} \left[P - T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_\rho \right] d\rho + u_o \quad (2.2.15)$$

şeklinde elde edilir. Burada,

T_o : seçilen referans sıcaklık (K)

u_o : referans sıcaklıktaki iç enerji değeri (J/kg)



Şekil 2.2.1. Kızgın buhar bölgesindeki özelliklerin hesaplanmasında izlenen integrasyon yolu

dir. İkinci integral ifadesi tekrar özgül hacme bağlı olarak yazılırsa, integralin sınırlarının da değişimi yapılarak

$$v = \frac{1}{\rho} \quad dv = -\frac{1}{\rho^2} d\rho$$

$$\rho=0 \quad v = \frac{1}{0} = \infty$$

$$\rho=\rho \quad v = \frac{1}{\rho}$$

$$u = \int_{T_0}^T c_{vo}(T) dT + \int_{\infty}^v \left[P - T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v \right] dv + u_0 \quad (2.2.16)$$

sonucuna ulaşılır. İç enerji için elde edilen bu denklemdeki integral ifadeleri (2.2.1) ve (2.2.2) denklemleri gözönüne alınarak hesaplanabilir.

İlk integral ifadesinin hesabı;

$$\begin{aligned} \int_{T_0}^T c_{vo}(T) dT &= \int_{T_0}^T \left(\sum_{i=1}^4 G_i T^{i-1} + G_5/T^2 \right) dT \\ &= \sum_{i=1}^4 G_i \int_{T_0}^T T^{i-1} dT + G_5 \int_{T_0}^T \frac{dT}{T^2} \\ &= \sum_{i=1}^4 G_i \frac{T^i - T_0^i}{i} + G_5 \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \quad (2.2.17) \end{aligned}$$

elde edilir.

İkinci ifadenin integrali alınmadan önce basitlik amacıyla aşağıdaki tanımlamalar yapılırsa ;

$$P=P(T,v)= \frac{R T}{v-b} + \sum_{i=2}^5 \frac{1}{(v-b)^i} \left[A_i + B_i T + C_i e^{-kT/T_k} \right] \\ + \frac{A_\sigma + B_\sigma T + C_\sigma e^{-kT/T_k}}{e^{\alpha v} (1 + c e^{\alpha v})}$$

hal denklemi için

$$Y_i = \frac{1}{(v-b)^i} \quad (2.2.18)$$

$$W_i = A_i + B_i T + C_i e^{-kT/T_k} \quad (2.2.19)$$

$$YV = \frac{1}{e^{\alpha v} (1 + c e^{\alpha v})} \quad (2.2.20)$$

$$X_i = \left(\frac{\partial W_i}{\partial T} \right)_v = B_i - C_i \frac{k}{T_k} e^{-kT/T_k} \quad (2.2.21)$$

tanımlamaları kullanılarak

$$P=P(T,v)= \frac{R T}{v-b} + \sum_{i=2}^5 Y_i W_i + W_\sigma YV \quad (2.2.22)$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v = \frac{R}{v-b} + \sum_{i=2}^5 Y_i X_i + X_\sigma YV \quad (2.2.23)$$

$$P - T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v = \sum_{i=2}^5 Y_i (W_i - T X_i) + YV (W_\sigma - T X_\sigma) \quad (2.2.24)$$

denklemleri elde edilir. (2.2.16)'daki ikinci integral ifadesi bu tanımlamalara göre hesaplanacak olursa,

$$\int_{\infty}^v \left[P - T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v \right] dv = \int_{\infty}^v \left[\sum_{i=2}^5 Y_i (W_i - T X_i) + YV (W_\sigma - T X_\sigma) \right] dv$$

Özgül hacme bağlı olan bölümlere dikkat edilerek

$$\int_{\infty}^v \left[P - T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v \right] dv = \sum_{i=2}^5 W_i \int_{\infty}^v Y_i dv - T \sum_{i=2}^5 X_i \int_{\infty}^v Y_i dv + (W_6 - T X_6) \int_{\infty}^v YV dv \quad (2.2.25)$$

elde edilir. Burada sadece Y_i ve YV terimleri özgül hacmin fonksiyonu olduklarından diğer terimler integral dışına çıkarılmıştır. Aşağıda gösterilen tanımlamalar kullanılarak,

$$Z_i = \int_{\infty}^v Y_i dv = \int_{\infty}^v \frac{dv}{(v-b)^i} = \frac{1}{(1-i)(v-b)^i} \quad (2.2.26)$$

$$\begin{aligned} ZV &= \int_{\infty}^v YV dv = \int_{\infty}^v \frac{1}{e^{\alpha v} (1+ce^{\alpha v})} dv \\ &= -\frac{1}{\alpha e^{\alpha v}} - \frac{c}{\alpha} \ln \left[1 - \frac{1}{(1+ce^{\alpha v})} \right] \end{aligned} \quad (2.2.27)$$

Bu tanımlamalara göre (2.2.25) yeniden yazılırsa

$$\int_{\infty}^v \left[P - T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v \right] dv = \sum_{i=2}^5 W_i Z_i - T \sum_{i=2}^5 X_i Z_i + (W_6 - T X_6) ZV \quad (2.2.28)$$

olur. Burada α ve c katsayıları akışkanlara bağlı olarak değişik değerler almaktadır. YV ifadesinin aldığı karakteride bu katsayıların durumu belirlemektedir. Yukarıda verilen YV ifadesinin integrali α ve c katsayılarının her ikisinin de sıfırdan farklı olma durumu içindir. Akışkanlara bağlı olarak α ve c katsayıları üç farklı durumda olmaktadır ve YV 'nin integralide üç farklı şekilde hesaplanabilir. Bunlar;

1) $\alpha=0$, $c=0$

F12, F114, FC-318, F500 akışkanları için α ve c katsayıları bu şekildedir. Ayrıca bu akışkanlar için A_6 ,

B_o ve C_o terimleri de sıfır olduğu için W_o ve X_o terimleri sıfır olmaktadır. Dolayısıyla bu terimlerle çarpılan ifadelerde sıfır olacaktır. Bunlar,

$$YV = 0$$

$$ZV = 0 \quad (2.2.29)$$

$$(W_o - T X_o) ZV = 0$$

dir.

$$2) \alpha \neq 0, c=0$$

F11, F13, F14, F22 ve F23 akışkanları için α ve c katsayıları bu şekildedir. Bu durumda, YV ve ZV ifadeleri

$$YV = \frac{1}{e^{\alpha v}} \quad (2.2.30)$$

$$ZV = \int_{-\infty}^v YV dv = \int_{-\infty}^v \frac{dv}{e^{\alpha v}} = - \frac{1}{\alpha e^{\alpha v}} \quad (2.2.31)$$

olur.

$$3) \alpha \neq 0, c \neq 0$$

Sadece F502 için α ve c katsayıları bu şekildedir. Bu durumda ise

$$YV = \frac{1}{e^{\alpha v} (1 + ce^{\alpha v})} \quad (2.2.32)$$

$$\begin{aligned} ZV &= \int_{-\infty}^v YV dv = \int_{-\infty}^v \frac{1}{e^{\alpha v} (1 + ce^{\alpha v})} \\ &= - \frac{1}{\alpha e^{\alpha v}} - \frac{c}{\alpha} \ln \left[1 - \frac{1}{(1 + ce^{\alpha v})} \right] \end{aligned} \quad (2.2.33)$$

(2.2.17) ve (2.2.28) denklemleri (2.2.16) nolu iç enerji ifadesinde yerine yazılırsa,

$$\begin{aligned} u = u(T, v) &= \sum_{i=1}^4 G_i \frac{T^i - T_o^i}{i} + G_5 \left[\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T} \right] \\ &\quad - \sum_{i=2}^5 W_i Z_i + T \sum_{i=2}^5 X_i Z_i - (W_o - T X_o) ZV + u_o \end{aligned} \quad (2.2.34)$$

elde edilir. Bu denklem iç enerjinin ve entalpinin hesaplanması için kullanılan temel denklemdir. İç enerji bulunduğundan sonra entalpi aşağıdaki termodinamik bağıntıdan kolayca hesaplanabilir.

$$h=u+Pv \quad (2.2.35)$$

Entropinin hesabı :

Entropinin hesabı Gibbs denkleminden[2] hareketle şu şekilde yapılabilir;

$$Tds=du+Pdv \quad (2.2.36)$$

$$ds=\frac{1}{T} du + \frac{P}{T} dv \quad (2.2.37)$$

Entropi için yazılan bu termodinamik bağıntıda, du için (2.2.14) denklemi ve $dv=-dp/\rho^2$ ifadesi yerine yazılırsa

$$ds=\frac{1}{T} \left[c_v dT + \frac{1}{\rho^2} \left[P - T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_\rho \right] dp \right] + \frac{P}{T} \left[- \frac{dp}{\rho^2} \right]$$

$$ds=\frac{c_v}{T} dT - \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_\rho dp \quad (2.2.38)$$

elde edilir. Bu denkleme $R dp/\rho$ terimi eklenir ve çıkarılırsa,

$$ds=\frac{c_v}{T} dT - R \frac{dp}{\rho} + \frac{1}{\rho^2} \left[\rho R - \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_\rho \right] dp \quad (2.2.39)$$

olur. Bu denklemin Şekil 2.2.1'de açıklandığı gibi integrali alınır,

$$s = \int_{T_0}^T \frac{c_{v0}(T)}{T} dT - R \ln p$$

$$+ \int_0^p \frac{1}{\rho^2} \left[\rho R - \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_\rho \right] dp + s_0 \quad (2.2.40)$$

elde edilir. Burada s_o (J/kg.K) referans sıcaklıktaki entropi değeridir. Elde edilen denklem için

$$\frac{1}{\rho} = v-b, \quad dv = -\frac{d\rho}{\rho^2}$$

$$\rho = 0 \quad v-b = \infty$$

$$\rho = \rho \quad v-b = v-b$$

dönüşümleri yapılarak,

$$s = \int_{T_o}^T \frac{c_{vo}(T)}{T} dT - R \ln\left(\frac{1}{v-b}\right) - \int_{\infty}^{v-b} \left[\frac{R}{v-b} - \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_{v-b} \right] dv + s_o \quad (2.2.41)$$

olur. Bu denklemde t sıcaklık (T) için, ϵ ($v-b$) için integrasyon sabiti olarak tanımlanarak

$$s = \int_{T_o}^T \frac{c_{vo}(t)}{t} dt + R \ln(v-b) - \int_{\infty}^{v-b} \left[\frac{R}{\epsilon} - \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_{\epsilon} \right] d\epsilon + s_o \quad (2.2.42)$$

elde edilir. Bu denklemden entropinin hesaplanması için integrallerin alınması gerekir. Bu integral ifadeleri sırasıyla hesaplanırsa;

$$\int_{T_o}^T \frac{c_{vo}(t)}{t} dt = \int_{T_o}^T \frac{1}{t} \left[\sum_{i=1}^4 G_i t^{i-1} + G_5/t^2 \right] dt$$

$$\begin{aligned}
&= \int_{T_0}^T \sum_{i=1}^4 G_i t^{i-2} dt + \int_{T_0}^T \frac{G_5}{t^3} dt \\
&= G_1 \ln(T/T_0) + \sum_{i=2}^4 \frac{G_i}{i-1} (T^{i-1} - T_0^{i-1}) \\
&\quad + \frac{G_5}{2} \left(\frac{1}{T_0^2} - \frac{1}{T^2} \right) \quad (2.2.43)
\end{aligned}$$

İkinci integral ifadesinde (2.2.23) denklemi yerine yazılarak,

$$\begin{aligned}
\int_{\infty}^{v-b} \left[\frac{R}{\epsilon} - \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{\epsilon} \right] d\epsilon &= \int_{\infty}^{v-b} \left[\frac{R}{\epsilon} - \left(\frac{R}{\epsilon} + \sum_{i=2}^5 Y_i X_i + X_{\sigma} YV \right) \right] d\epsilon \\
&= \int_{\infty}^{v-b} \left[- \sum_{i=2}^5 Y_i X_i - X_{\sigma} YV \right] d\epsilon
\end{aligned}$$

Özgül hacme bağlı olan terimler gözönüne alınarak

$$= - \sum_{i=2}^5 Z_i X_i - X_{\sigma} ZV \quad (2.2.44)$$

elde edilir. Burada,

$$Y_i = \frac{1}{\epsilon^i}, \quad X_i = \left(\frac{\partial W_i}{\partial T} \right)_v = B_i - C_i \frac{k}{T_k} e^{-kT/T_k}$$

$$Z_i = \int_{\infty}^{v-b} Y_i d\epsilon = \int_{\infty}^{v-b} \frac{d\epsilon}{\epsilon^i} = \frac{1}{(i-1)(v-b)^i} \quad (2.2.45)$$

$$YV = \frac{1}{e^{\alpha(\epsilon+b)} (1 + c e^{\alpha(\epsilon+b)})}$$

$$ZV = \int_{\infty}^{v-b} YV \, dv = - \frac{1}{\alpha e^{\alpha v}} - \frac{c}{\alpha} \ln \left(1 - \frac{1}{(1+ce^{\alpha v})} \right) \quad (2.2.46)$$

olmaktadır. (2.2.43) ve (2.2.44) ifadeleri entropiye ait denklemde (2.2.42) yerine yazılırsa

$$s = G_1 \ln(T/T_0) + \sum_{i=2}^4 \frac{G_i}{i-1} (T^{i-1} - T_0^{i-1}) + \frac{G_5}{2} \left(\frac{1}{T_0^2} - \frac{1}{T^2} \right) + R \ln(v-b) + \sum_{i=2}^5 Z_i X_i + X_6 ZV + s_0 \quad (2.2.47)$$

elde edilir. Bu denklem kızgın buhar bölgesinde entropinin hesabı için kullanılacak olan temel denklemdir.

Böylece kızgın buhar bölgesindeki özelliklerin tamamının hesabı için gerekli olan temel denklemler elde edilir. Bu denklemler sırasıyla (2.2.1), (2.2.2), (2.2.34), (2.2.35) ve (2.2.47) 'dir. Hazırlanan programda kızgın buhar bölgesindeki özelliklerin hesabı için bu temel denklemler kullanılmıştır. Ancak görüldüğü gibi denklemler T , v özellik çiftinin bir fonksiyonudurlar. Farklı giriş özellik çiftleri için diğer özelliklerin hesabında Newton-Raphson metodu[5] bu temel denklemler türetilerek başarılı bir şekilde kullanılmıştır.

2.3. Doymuş Sıvı ve Doymuş Buhar Özelliklerinin Hesaplanması

Doyma özelliklerinin hesaplanması için akışkana ait şu dört özellik bağıntısının bilinmesi gerekir;

1) Hal denklemi

$$P=P(T,v)$$

2) Sabit hacimde mükemmel gaz özgül ısı denklemi

$$c_{vo} = c_{vo}(T)$$

3) Buharlaşma eğrisi denklemi

$$P_d = P_d(T)$$

4) Doymuş sıvı eğrisi denklemi

$$\rho_s = \rho_s(T)$$

Hal denklemi ve özgül ısı denklemi sırasıyla (2.2.1) ve (2.2.2) nolu denklemler olarak verilmişlerdi.

İncelenen soğutucu akışkanlar için doyma basıncı veya buharlaşma eğrisi denklemi[1] şu şekilde verilmiştir:

i) F12 için,

$$\ln P_d = F_1 + \frac{F_2}{T} + F_3 \ln T + F_4 T \quad (2.3.1)$$

ii) F23 için,

$$\ln P_d = F_1 + \frac{F_2}{T} + F_3 \ln T + F_4 T + F_5 T^2 + F_6 T^3 \quad (2.3.2)$$

iii) F11, F13, F14, F22, F114, FC-318, F500, F502 için

$$\ln P_d = F_1 + \frac{F_2}{T} + F_3 \ln T + F_4 T + F_5 \frac{\gamma - T}{T} \ln(\gamma - T) \quad (2.3.3)$$

Doymuş sıvı eğrisi denklemi ise şu şekilde verilmiştir[1]:

$$\rho_s = \sum_{i=1}^5 D_i X^{(i-1)/3} + D_6 X^{1/2} + D_7 X^2 \quad (2.3.4)$$

$$X = 1 - \frac{T}{T_k} \quad (2.3.5)$$

Yukarıda verilen dört özellik bağıntısı kullanılarak doymuş sıvı ve doymuş buhar özelliklerini hesaplamak için izlenen yol şu şekildedir :

1) Verilen T sıcaklığına karşılık gelen doyma basıncının değeri, $P_d = P_d(T)$ buharlaşma eğrisi

denkleminde hesaplanır.

2) Bu bilinen basınç ve sıcaklık değerleri kullanılarak doymuş buharın özgül hacmi v_b , $P=P(T,v)$ hal denkleminde bulunur.

3) Doymuş buharın iç enerjisi u_b , entalpisi h_b ve entropisi s_b Bölüm 2.2'de anlatıldığı gibi (2.2.34), (2.2.35) ve (2.2.47) denklemlerinden sırasıyla hesaplanır.

Doymuş buhar özellikleri bu şekilde hesaplandıktan sonra, doymuş sıvı özelliklerinin hesabı doymuş sıvı eğrisi ve Clapeyron denklemlerinden yararlanılarak şu şekilde yapılır;

4) Doymuş sıvının özgül hacmi v_s , doymuş sıvı eğrisi denkleminde (2.3.4) bulunur.

$$v_s(T) = 1/\rho_s(T) \quad (2.3.5)$$

5) Doymuş sıvının entalpi ve entropisi Clapeyron denklemi kullanılarak hesaplanır.

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_d = \frac{s_b - s_s}{v_b - v_s} = \frac{h_b - h_s}{T(v_b - v_s)} \quad (2.3.6)$$

Burada eşitliğin ilk tarafındaki $(dP/dT)_d$ ifadesi akışkanlara bağlı olarak (2.3.1-3) denklemleriyle verilen doyma basıncı denklemleri türetilerek hesaplanır;

(1) F12 için

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_d = P_d \left[-\frac{F_2}{T^2} + \frac{F_3}{T} + F_4 \right] \quad (2.3.7)$$

(2) F23 için

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_d = P_d \left[-\frac{F_2}{T^2} + \frac{F_3}{T} + F_4 + 2F_5 T + 3F_6 T^2 \right] \quad (2.3.8)$$

(3) F11, F13, F14, F22, F114, FC-318, F500, F502 için

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_d = P_d \left[-\frac{F_2}{T^2} + \frac{F_3}{T} + F_4 - F_5 \left(\frac{\gamma}{T^2} \ln(\gamma-T) + \frac{1}{T} \right) \right] \quad (2.3.9)$$

Böylece doymuş sıvı entalpisi Clapeyron denkleminde,

$$h_s = h_b - T (v_b - v_s) \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_d \quad (2.3.10)$$

olarak bulunur. Yine Clapeyron denkleminde doymuş sıvı entropisi,

$$s_s = s_b - \frac{h_b - h_s}{T} \quad (2.3.11)$$

şeklinde elde edilir.

Böylece doyma sıcaklığı giriş değeri için doyma özelliklerinin tamamının hesabı yapılabilir. Doyma özelliklerinin hesabında kullanılan denklemler sırasıyla (2.3.1-3), (2.2.10), (2.2.34), (2.2.35), (2.2.47), (2.3.4), (2.3.10) ve (2.3.11) 'dir. Giriş değerinin doyma basıncı olması durumunda ise önce (2.3.1-3) buharlaşma eğrisi denklemlerinden iterasyonla doyma sıcaklığı hesaplanır ve yukarıda verilen sıra aynen izlenerek doyma özellikleri hesaplanır.

Geliştirilen bu temel denklemler kullanılarak akışkanlara ait bütün özellikler hassas ve güvenilir bir şekilde hesaplanabilir. Önceden de belirtildiği gibi, tüm denklemler sıcaklık ve özgül hacmin veya sadece sıcaklığın fonksiyonu şeklindedirler. Sıcaklık ve özgül hacim (T, v) haricindeki farklı giriş özellik çiftleri için diğer özelliklerin hesaplanmasında nümerik yöntemler kullanılmıştır. Çünkü bu temel denklemlerde bulunan

logaritmik, üssel ve toplam ifadeleri, denklemlerin her bir özeliğe göre elde edilmelerini hayli zorlaştırmaktadır. Bu amaç için Newton-Raphson metodu kullanılmıştır. Bunun içinde temel denklemlerin kısmi türevlerinin alınması gerekmektedir.

2.4. Farklı Giriş Özellik Çiftleri İçin Diğer Özelliklerin Hesaplanması

Uygulamada en çok kullanılan soğutucu akışkan özellikleri P, T, v, h, s olmaktadır. Bölüm 2.2 ve 2.3'te bu özelliklerin hesaplanması için denklemler geliştirilmiştir. Esas itibariyle bu özellikler arasındaki bağıntıları belirleyen ve hesaplamaya temel teşkil eden denklemler aşağıdaki şekilde özetlenebilir :

- 1) $P=P(T,v)$ (2.2.1)
- 2) $u=u(T,v)$ (2.2.34)
- 3) $h=h(T,v)=u(T,v)+P(T,v)\times v$ (2.2.35)
- 4) $s=s(T,v)$ (2.2.47)

Doyma özelliklerinin hesaplanmasında bunlara ilaveten buharlaşma eğrisi denklemi

$$5) P_d = P_d(T) \quad (2.3.1-3)$$

Yukarıda verilen beş adet özellik için on tane farklı giriş özellik çifti ortaya çıkmaktadır. Bunlar Tablo 2.4.1'de verilmiştir. Yukarıdaki dört denklemden bu giriş özellik çiftlerine bağlı olarak diğer özellikleri hesaplamak mümkündür.

Hesaplama kullanılan Newton-Raphson metodu hakkında kısa bir açıklama ve yukarıda verilen denklemler üzerinde değişik özellik çiftleri için uygulaması aşağıda verilmiştir.

Tablo 2.4.1 : Giriş Özellik Çiftleri

Giriş Özellik Çiftleri	
Özellikler : P,T,v,h,s	
1) T,v	6) T,h
2) T,P	7) v,h
3) P,v	8) P,h
4) T,s	9) P,s
5) v,s	10) h,s

2.4.1. Newton-Raphson Metodunun Kullanımı

Bu metod tek değişkenli bir denklem için uygulanabileceği gibi birden fazla değişkenli denklemler içinde uygulanabilmektedir[5]. Metodun kısaca tanıtımı aşağıda yapılmıştır.

Newton-Raphson Metodu:

Tek değişkenli bir $f(x)=0$ fonksiyonuna ait bu eşitliği sağlayan x değerini bulmak için önce fonksiyonun x 'e göre türevi alınır.

$$f(x)=0 \quad , \quad f'(x)=\frac{\partial f}{\partial x}$$

Bu metotta kök değerinin bulunması için önce bir x_n başlangıç değeri tahmin edilir. Ve fonksiyonun ve türevinin bu başlangıç değeri için aldığı değerler hesaplanır. Bir sonraki adımdaki x_{n+1} değeri ise aşağıdaki formülden bulunur,

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}$$

Bu işlemler,

$$\Delta x = x_n - x_{n+1} = \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}$$

değeri istenen hata değerinden küçük oluncaya kadar tekrarlanır.

Bilinmeyen sayısı birden fazla olduğu zaman, bilinmeyenlere ait denklem sisteminin çözümü şu şekilde yapılır[5]: Burada iki bilinmeyenli durum için metod anlatılmıştır. Bilinmeyen sayısının dahada fazla olması durumunda aynı yöntem kullanılarak çözüme gidilebilir.

Önce, fonksiyonlar

$$f_1(x,y)=0$$

$$f_2(x,y)=0$$

ikinci tarafları sıfıra eşit olacak şekilde düzenlenir. Ve bu fonksiyonların değişkenlere bağlı olarak kısmi türevleri alınır,

$$\frac{\partial f_1}{\partial x}, \quad \frac{\partial f_1}{\partial y}, \quad \frac{\partial f_2}{\partial x}, \quad \frac{\partial f_2}{\partial y}$$

Daha sonra aşağıdaki matris formu oluşturulur,

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x} & \frac{\partial f_1}{\partial y} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x} & \frac{\partial f_2}{\partial y} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{bmatrix}$$

Burada ilk tahmin değerleri x_1, y_1 için fonksiyonların ve kısmi türevlerinin değerleri hesaplanır. Yukarıdaki matris formundan Δx ve Δy farkları bulunur. Bu fark değerleri kullanılarak bir sonraki adım için x_2, y_2 değerleri

$$x_2 = x_1 - \Delta x$$

$$y_2 = y_1 - \Delta y$$

şeklinde hesaplanır. Ve bu işlemlere Δx ve Δy farkları istenen hassasiyetleri sağlayıncaya kadar devam edilir.

Newton-Raphson Metodunun Kullanımı:

Akışkanların özelliklerinin hesaplanmasında kullanılan temel denklemler Bölüm 2.4'te özet olarak verilmişti. Bunlar;

- 1) $P=P(T,v)$
- 2) $u=u(T,v)$
- 3) $h=h(T,v)$
- 4) $s=s(T,v)$

idi. Bu denklemlerdeki değişkenler ise P , T , v , h , s dir. Newton-Raphson metodu için bu denklemlerin ikinci tarafları sıfıra eşit olacak şekilde yeniden yazılırsa,

$$1) f_1(P,T,v) = P(T,v)-P = 0 \quad (2.4.2.1)$$

$$2) f_2(u,T,v) = u(T,v)-u = 0 \quad (2.4.2.2)$$

$$3) f_3(h,T,v) = h(T,v)-h = 0 \quad (2.4.2.3)$$

$$4) f_4(s,T,v) = s(T,v)-s = 0 \quad (2.4.2.4)$$

olur. Bu denklemler aracılığıyla Newton-Raphson metodu kullanılarak değişik giriş özellik çiftleri için diğer özelliklerin hesabında izlenen yol şu şekildedir : Tablo 2.4.1'de verilen T , v özellik çifti haricindeki özellik çiftlerinin girilmesi durumunda, öncelikle girilen değerlere uygun olarak yukarıdaki denklemler arasından seçilen denklem veya denklemler kullanılarak iterasyonla giriş özellik çiftini sağlayan T , v değerleri bulunur. Ve bu değerler yardımıyla temel denklemlerden bilinmeyen diğer özellikler hesaplanır. Burada metodun bir özelliği neticesi girilen değer çiftine bağlı olarak sıcaklık ve özgül hacime veya her ikisine ait başlangıç değerlerinin bilinmesi gerekir.

Giriş özellik çiftinin 2) T,P olması durumunda özgül hacim v , 3) P,v olması durumunda ise sıcaklık T için başlangıç değerleri mükemmel gaz yaklaşımıyla hal denkleminde hesaplanabilir.

$$Pv=RT$$

$$v=RT/P, \quad T=Pv/R$$

Hazırlanan programın birden fazla akışkan için kullanılması ve bu akışkanların kritik özellikleri

gözönüne alınarak diğer giriş özellik çiftleri için başlangıç değerleri, $T=T_k-50$ K , $v=0.02$ m³/kg olarak alınmıştır. Bu başlangıç değerleriyle bütün akışkanlar için 5-6 iterasyonda istenen hassasiyette yakınsamanın gerçekleştiği görülmüştür.

Herbir özellik çiftine bağlı olarak başlangıçta T, v'nin hesabı için kullanılan denklemler ve başlangıç tahmin değerleri Tablo 2.4.2.1'de verilmiştir.

Görüldüğü gibi 1 nolu giriş özellik çifti için başlangıç değerlerine gerek yoktur. Denklemler bu özellik çiftine göre düzenlenmiş olduğundan diğer özellikler kolayca hesaplanabilir.

2-7 nolu giriş özellik çiftleri için sadece tek bilinmeyen (T veya v) söz konusudur ve bu bilinmeyenin hesabı için de bir tane denklem yeterli olmaktadır.

Tablo 2.4.2.1 : Giriş özellik çiftlerine bağlı olarak başlangıç özelliklerinin hesabı için kullanılan denklemler ve başlangıç değerleri

Giriş Özellik Çifti	Denklem No	Başlangıç Değerleri
1) T,v	(2.4.2.1)	—
2) T,P	"	$v=RT/P$
3) P,v	"	$T=Pv/R$
4) T,s	(2.4.2.4)	$v=0.02$
5) v,s	"	$T=T_k-50$
6) T,h	(2.4.2.3)	$v=0.02$
7) v,h	"	$T=T_k-50$
8) P,h	(2.4.2.1)&(2.4.2.3)	$T=T_k$, $v=0.01$
9) P,s	(2.4.2.1)&(2.4.2.4)	"
10) h,s	(2.4.2.3)&(2.4.2.4)	"

8-10 nolu giriş değerlerinde hem T hem v bilinmemektedir. Bunların hesabı için iki tane denkleme ihtiyaç olduğu açıktır.

Bu durumda Newton-Raphson metodunun kullanımının bu gruplardan birer tanesi için detaylı olarak açıklanması yeterli olacaktır. Diğer değer çiftleri için gerekli olan algoritma aynı mantıkla kolaylıkla kurulabilir. Ayrıca tüm giriş değerleri için kullanılacak olan denklemler ve kısmi türevleri Bölüm 2.5'te verilmiştir.

2 nolu giriş özellik çifti için Newton-Raphson metodunun uygulaması şu şekildedir : Bilinen özellik değerleri T, P'dir. Diğer özelliklerin hesabında temel denklemlerin kullanılabilmesi için özgül hacmin, v bilinmesi gerekir. P, T, v değişkenlerini içeren (2.4.2.1) nolu denklem kullanılarak tek bilinmeyen durumunda olan v değeri bulunabilir. Önce denklemin bilinmeyen değişkene göre (v) kısmi türevi alınır:

$$f_1(P, T, v) = P(T, v) - P = 0$$

$$f'_1(P, T, v) = \frac{\partial f_1}{\partial v} = \left(\frac{\partial P}{\partial v} \right)_T$$

P ve T değerleri bilindiği için v'nin başlangıç değeri mükemmel gaz kabulüyle hal denkleminde,

$$v_i = RT/P$$

olarak bulunur. Bu başlangıç değeri için fonksiyonun ve kısmi türevinin aldığı değerler hesaplanır. Sonra

$$FBDF = \frac{f_1(P, T, v_i)}{f'_1(P, T, v_i)}$$

adım değeri bulunup, özgül hacmin yeni değeri

$$v_{i+1} = v_i - FBDF$$

olarak hesaplanır. Bu işlemlere $|FBDF| = \Delta v < 0.00001$

oluncaya kadar devam edilir. Burada kullanılan bir başka karşılaştırma değeri de hesaplanan özgül hacim değerine bağlı olan basınç değeridir. Söyle ki; yenilenen her özgül hacim değeri ve başlangıçta girilen sıcaklık değerleri kullanılarak $P=P(T,v)$ hal denkleminde basınç, PH hesaplanır. Eğer bu PH basınç değeri giriş değer çiftinde bulunan basınç için yeterli hassasiyette ise yani $|P-PH| < P \times 10^{-6}$ ise işlem tamamlanır.

8 nolu giriş özellik çifti için diğer özelliklerin hesaplanmasında Newton-Raphson metodunun kullanımı ise şu şekilde olacaktır: Burada bilinen özellik değerleri P, h'dır. Bilinmeyen T, v değerlerinin hesabı için iki denkleme ihtiyaç vardır. Bu giriş değerleri için kullanılacak denklemler,

$$f_1(P,T,v) = P(T,v) - P = 0$$

$$f_2(h,T,v) = h(T,v) - h = 0$$

dir. Bu denklemlerin bilinmeyen T, v değişkenlerine göre kısmi türevleri,

$$\frac{\partial f_1}{\partial T} = \frac{\partial P}{\partial T} \quad \frac{\partial f_1}{\partial v} = \frac{\partial P}{\partial v}$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial T} = \frac{\partial h}{\partial T} \quad \frac{\partial f_2}{\partial v} = \frac{\partial h}{\partial v}$$

olarak elde edilir. Bu kısmi türevler kullanılarak aşağıdaki matris formu yazılır:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial T} & \frac{\partial f_1}{\partial v} \\ \frac{\partial f_2}{\partial T} & \frac{\partial f_2}{\partial v} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta T \\ \Delta v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{bmatrix}$$

Burada T, v'nin başlangıç değerleri Tablo 2.4.2.1'den

$$T_i = T_k, \quad v_i = 0.01$$

dir. Bu başlangıç değerleri için yukarıdaki matris formundan ΔT ve Δv değerleri hesaplanır. Yeni T, v değerleri ise

$$\begin{aligned} T_{i+1} &= T_i - \Delta T \\ v_{i+1} &= v_i - \Delta v \end{aligned}$$

ifadelerinden bulunur. $\Delta T < 0.1$ ve $\Delta v < 0.0001$ oluncaya kadar işlemlere devam edilir.

T, v bulunduktan sonra $s=s(T,v)$ denkleminde entropi hesaplanır.

Diğer giriş özellik çiftleri için metodun uygulaması bu iki grupta anlatıldığı gibidir.

2.5. Temel Denklemlerin Kısmi Türevleri

Bölüm 2.4.2'de anlatılan T, v giriş özellik çifti haricindeki giriş değerlerine bağlı olarak özelliklerin hesaplanması için kullanılan metodda temel denklemlerin kısmi türevlerinin alınması gerekiyordu. Aşağıda bu temel denklemlere ait kısmi türevler elde edilmiştir.

1) $P=P(T,v)$ denklemi ve kısmi türevleri:

$$\begin{aligned} P=P(T,v) &= \frac{RT}{v-b} + \sum_{i=2}^5 \frac{1}{(v-b)^i} \left[A_i + B_i T + C_i e^{-kT/T_k} \right] \\ &+ \frac{\frac{A}{\sigma} + \frac{B}{\sigma} T + \frac{C}{\sigma} e^{-kT/T_k}}{e^{av} (1 + ce^{av})} \end{aligned} \quad (2.2.1)$$

$$P=P(T,v)=\frac{RT}{v-b}+\sum_{i=2}^5 Y_i W_i+W_6 YV \quad (2.2.22)$$

$$c_{vo}=c_{vo}(T)=\sum_{i=1}^4 G_i T^{i-1}+G_5/T^2 \quad (2.2.2)$$

olarak verilmişti.

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v=\frac{R}{v-b}+\sum_{i=2}^5 Y_i DW_i+DW_6 YV \quad (2.5.1)$$

$$DW_i=X_i=\left(\frac{\partial W_i}{\partial T}\right)_v=B_i-C_i\frac{k}{T_k}e^{-kT/T_k} \quad (2.5.1-a)$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial v}\right)_T=-\frac{RT}{(v-b)^2}+\sum_{i=2}^5 DY_i W_i+W_6 DYV \quad (2.5.2)$$

$$Y_i=\frac{1}{(v-b)^i}$$

$$DY_i=\frac{\partial Y_i}{\partial v}=\frac{-1(v-b)^{i-1}}{(v-b)^{2i}}=\frac{-1}{(v-b)^{i+1}} \quad (2.5.2-a)$$

$$DYV=\frac{\partial YV}{\partial v}$$

$$-\alpha=0, \quad c=0$$

$$YV=0 \quad DYV=0 \quad (2.5.2-b)$$

$$-\alpha \neq 0, \quad c=0$$

$$YV=\frac{1}{e^{\alpha v}} \quad DYV=\frac{-\alpha}{e^{\alpha v}} \quad (2.5.2-c)$$

$$- \alpha \neq 0, \quad c \neq 0$$

$$YV = \frac{1}{e^{\alpha V} (1 + ce^{\alpha V})}$$

$$DYV = \frac{-\alpha(1+2ce^{\alpha V})}{e^{\alpha V} (1+ce^{\alpha V})} \quad (2.5.2-d)$$

2) $u=u(T,v)$ denklemi ve kısmi türevleri:

$$u = \int_{T_0}^T c_{v0}(T) dT + \int_{\infty}^v \left[P - T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v \right] dv + u_0 \quad (2.2.16)$$

$$u = u(T,v) = \sum_{i=1}^4 G_i \frac{T^i - T_0^i}{i} + G_5 \left[\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right] - \sum_{i=2}^5 W_i Z_i + T \sum_{i=2}^5 X_i Z_i - (W_5 - T X_5) ZV + u_0 \quad (2.2.34)$$

olarak elde edilmişti.

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v &= \sum_{i=1}^4 G_i T^{i-1} + \frac{G_5}{T^2} - \sum_{i=2}^5 DW_i Z_i + \sum_{i=2}^5 X_i Z_i \\ &+ T \sum_{i=2}^5 DX_i Z_i - (DW_5 - X_5 - TX_5) ZV \end{aligned} \quad (2.5.3)$$

$$X_i = \left(\frac{\partial W_i}{\partial T} \right)_v = B_i - C_i \frac{k}{T_k} e^{-kT/T_k}$$

$$DX_i = \left(\frac{\partial X_i}{\partial T} \right)_v = C_i \left(\frac{k}{T_k} \right)^2 e^{-kT/T_k} \quad (2.5.3-a)$$

$$\left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_T = - \sum_{i=2}^5 W_i DZ_i + T \sum_{i=2}^5 X_i DZ_i - (W_6 - TX_6) DZV \quad (2.5.4)$$

$$Y_i = \frac{1}{(v-b)^i} \quad , \quad Z_i = \int_{\infty}^v Y_i dv$$

$$DZ_i = \left(\frac{\partial Z_i}{\partial v} \right)_T = Y_i \quad (2.5.4-a)$$

$$YV = \frac{1}{e^{\alpha v} (1 + ce^{\alpha v})} \quad , \quad ZV = \int_{\infty}^v YV dv$$

$$DZV = \left(\frac{\partial ZV}{\partial v} \right)_T = YV \quad (2.5.4-b)$$

3) $h=h(T,v)$ denklemi ve kısmi türevleri:

$$h=u+Pv$$

$$h=h(T,v)=u(T,v)+P(T,v) v$$

Buradan,

$$\left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v + \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v v \quad (2.5.5)$$

$$\left(\frac{\partial h}{\partial v} \right)_T = \left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_T + \left(\frac{\partial P}{\partial v} \right)_T v + P(T,v) \quad (2.5.6)$$

4) $s=s(T,v)$ denklemi ve kısmi türevleri:

$$s = \int_{T_0}^T \frac{c_{vo}(T)}{T} dT - R \ln p + \int_0^p \frac{1}{\rho^2} \left[\rho R - \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right) \rho \right] d\rho + s_0 \quad (2.2.40)$$

$$s = G_1 \ln(T/T_0) + \sum_{i=2}^4 \frac{G_i}{i-1} (T^{i-1} - T_0^{i-1}) + \frac{G_5}{2} \left(\frac{1}{T_0^2} - \frac{1}{T^2} \right) + R \ln(v-b) + \sum_{i=2}^5 Z_i X_i + X_6 ZV + s_0 \quad (2.2.47)$$

olarak verilmişti. Buradan,

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial s}{\partial T} \right)_v &= \frac{c_{vo}(T)}{T} + \sum_{i=2}^5 DX_i Z_i + DX_6 ZV \\ &= \sum_{i=1}^4 G_i T^{i-2} + G_5 / T^3 + \sum_{i=2}^5 DX_i Z_i + DX_6 ZV \quad (2.2.7) \end{aligned}$$

$$\left(\frac{\partial s}{\partial v} \right)_T = - \frac{R}{v-b} + \sum_{i=2}^5 X_i DZ_i + X_6 DZV \quad (2.2.8)$$

BÖLÜM 3. PROGRAM

Basic programlama dilinde hazırlanan program yaklaşık 32KB'lık bir alan gerektirmektedir. Kullanımı kolaylaştırmak amacıyla menüli olarak hazırlanan program birçok alt bölüm ve altprogramlardan oluşmaktadır. Bu alt bölüm ve altprogramlara olan dallanma ana menüdeki altı esas bölüm üzerinden olmaktadır.

Program kullanılarak freon türünden F11, F12, F13, F14, F22, F23, F114, FC-318, F500, F502 on adet soğutucu akışkan için termodinamik özellikler, giriş özellik çifti ne olursa olsun, hassas olarak ve kısa zamanda hesaplanabilmektedir. Program aynı zamanda bu akışkanlar için değişik formlarda termodinamik tabloların hazırlanmasına imkan vermektedir. Ayrıca her bir akışkan için $\ln P-h$ ve $T-s$ diyagramları çizilebileceği gibi bu diyagramlar üzerinde soğutma sistemleri için gerekli karakteristik giriş değerleri tanımlanarak çevrim çizimi de yapılabilir.

Uygulamalarda optimum akışkan seçiminde kullanılan termodinamik tablo ve diyagramların yetersizliği bilinmektedir. Programda her bir akışkan için bütün ara değerlerin hesaplanabilmesi ve $\ln P-h$ ve $T-s$ diyagramlarının çizilebilmesi bu eksikliği azda olsa giderecektir. Ayrıca program çok basit bir yönetim programıyla genel amaçlı bir dizayn programı için bir altprogram olarakta kullanılabilir.

3.1 Programın Genel Yapısı ve Çalışması

Kullanımı kolaylaştırmak, özel tanımlamalar yapabilmek ve bir paket program olarak çalışma özelliği sağlamak amacıyla menüli olarak hazırlanan program, bir ana menü ve buna bağlı olarak çalışan altı esas bölümden oluşmaktadır. Bu altı esas bölüm üzerinden de bazı alt bölümlere dallanılarak en genel durumdan istenen özel amaca ulaşıp gerekli tanımlamalar yapılabilmektedir. Bu esas ve alt bölümleri içeren en genel durum için programa ait akış şeması Şekil 3.1.1'de gösterilmiştir. Ayrıca program için temel teşkil eden ve diğer bölümler tarafındanda kullanılan Hesaplama bölümünün akış şeması da Şekil 3.1.2'de detaylı olarak verilmiştir.

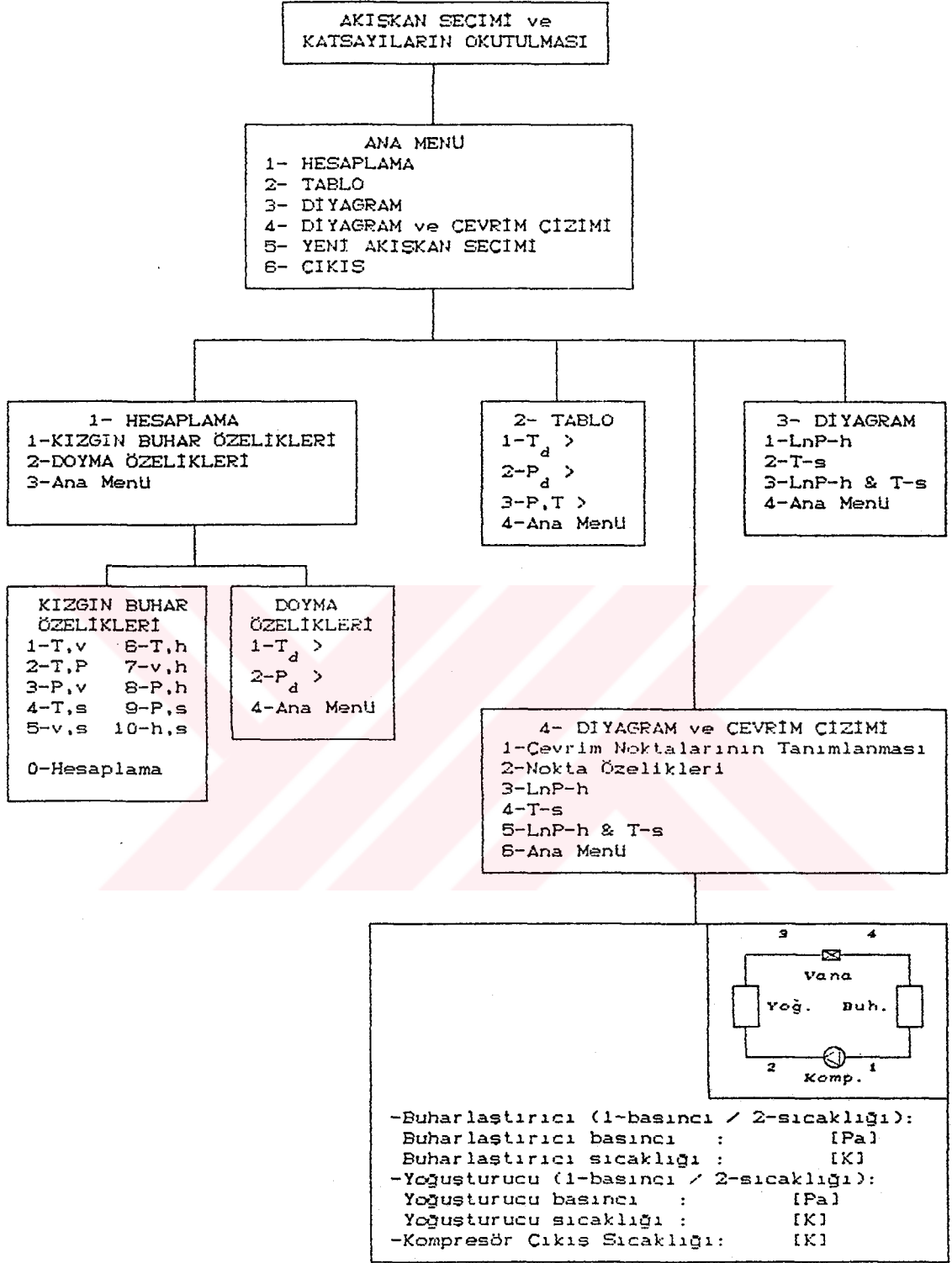
Programın ilk olarak çalışmasıyla önce akışkan seçimi bölümünden akışkan seçimi yapılmaktadır. Sonra katsayılar alt programına dallanılmaktadır. Burada seçilen akışkan için data dosyasından katsayıların okunması ve grafik çiziminde kullanılacak olan dosyaların belirlenmesinden sonra program ana menüye dallanmaktadır. Ve bundan sonra programın bütün çalışması buradan kontrol edilmektedir. Ana menüde bulunan esas bölümler şunlardır:

- 1-Hesaplama
- 2-Tablo
- 3-Diyagram
- 4-Diyagram ve çevrim çizimi
- 5-Yeni akışkan seçimi
- 6-Çıkış

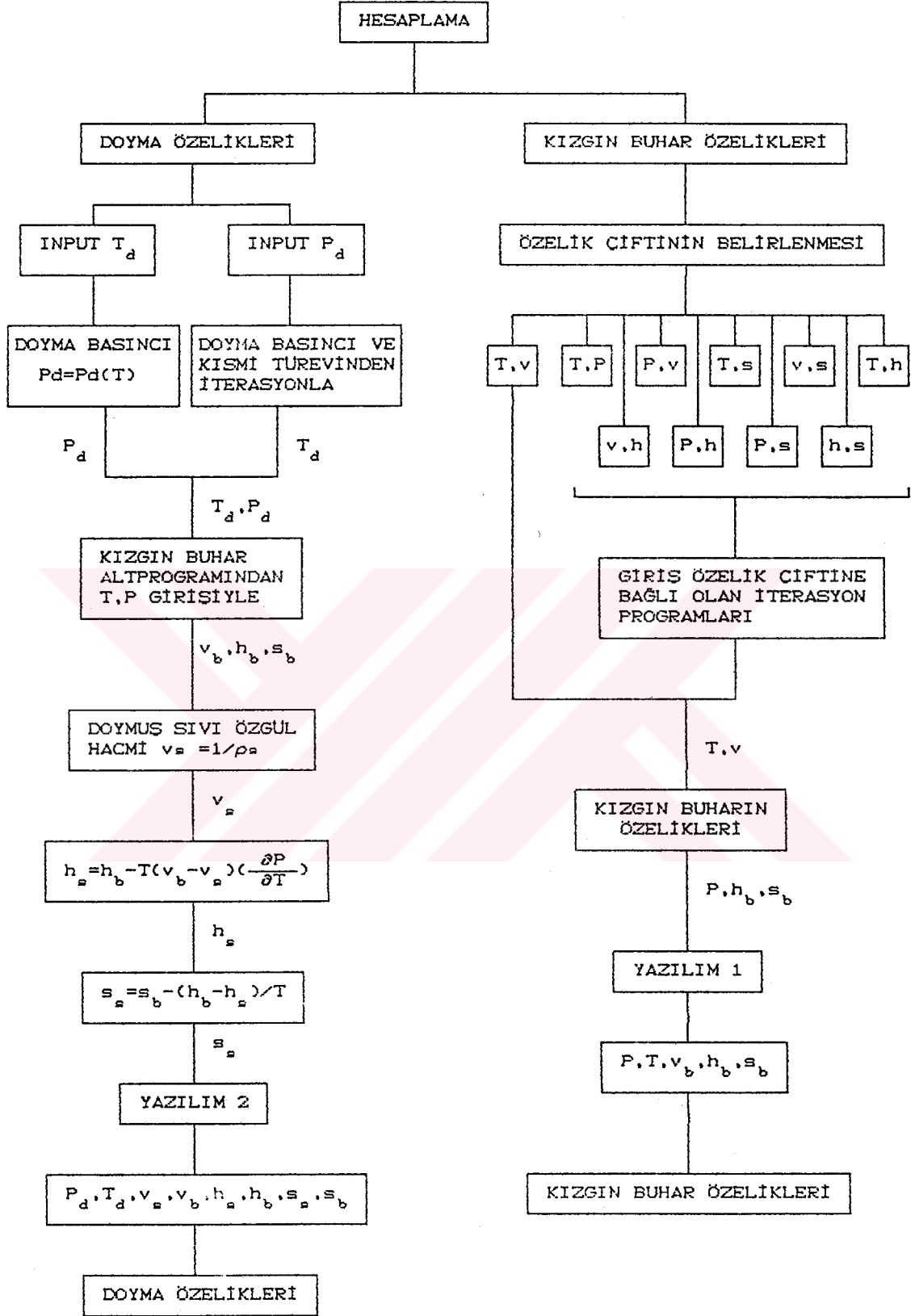
Bu esas bölümlerin içeriği ve çalışması şu şekildedir:

- 1-Hesaplama:
Bu bölüm,
1)Kızgın buhar,
2)Doyma özellikleri

olmak üzere iki alt bölümden oluşmaktadır. Bu bölümde,



Şekil 3.1.1 : Program akış seması



Şekil 3.1.2 : Hesaplama bölümü akış şeması

seçilen akışkan için kızgın buhar ve doyma bölgesindeki verilen giriş değerlerine karşılık gelen özellikler hesaplanır. Diğer bölümler tarafından da kullanılan bu bölümün akış şeması Şekil 3.1.2'de gösterilmiştir. Kızgın buhar ve doyma özellikleri bölümleri aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

1)Kızgın buhar özellikleri: Bu bölümde on farklı giriş özellik çifti için kızgın buhar bölgesindeki özelliklerin hesaplanması yapılmaktadır. Bu özellik çiftleri Tablo 2.4.1'de gösterilmiştir. Girilecek özellik çiftinin kodu belirlendikten sonra o çifte ait özellik değerleri verilir. Aynı anda ekranda o akışkana ait kritik değerler görüntülenerek yanlış bir değer girilmemesi için kullanıcı uyarılır. Daha sonra girilen özellik çiftine bağlı olarak (1 nolu özellik çifti hariç) iterasyon programlarına dallanılır. Bu iterasyon programları bu özellik çifti için Bölüm 2.4.2'de anlatılan temel denklemlere göre hazırlanmış altprogramları kullanarak T veya v veya her ikisine ait değerleri istenen hassasiyette hesaplar. Daha sonra kızgın buharın özellikleri altprogramına gidilerek Bölüm 2.4'te özetlenen temel denklemler aracılığıyla kızgın buhar bölgesindeki bütün özellikler hesaplanır. Ardından yazılımı altprogramı kullanılarak sonuçlar ekranda görüntülenir. Sonuçlar alındıktan sonra tekrar kızgın buhar altbölümüne gidilerek yeni giriş değerleri sorulur.

2)Doyma özellikleri: Bu bölümde girilen doyma sıcaklığı veya doyma basıncına karşılık gelen doymuş sıvı ve doymuş buhar özellikleri hesaplanır. Doyma sıcaklığının girilmesi durumunda önce doyma basıncı altprogramından bu sıcaklığa karşılık gelen doyma basıncı hesaplanır. Eğer girilen değer doyma basıncı ise, doyma basıncı ve türevi altprogramı iterasyona tabi tutularak doyma sıcaklığı hesaplanır. Bu iki değer (T_d, P_d) kullanılarak Bölüm 2.2'de anlatıldığı şekilde doymuş buhar özellikleri hesaplanır. Daha sonra Bölüm 2.3'te verilen denklemler izlenerek doymuş sıvı özellikleri de

hesaplanır. Sonuçlar yazılım2 altprogramı kullanılarak ekranda grntlndikten sonra, istenirse ıslak buhar bölgesindeki özeliklerin hesaplanması için bir alternatif daha sunulur. Bu bölge için kuruluk derecesi, özgül hacim, entalpi ve entropi değerlerinden birinin tanımlanmasıyla diğer zelikler hesaplanıp aynı anda ekranda görüntülenir. Sonra yeni değer girişi için doyma özelikleri bölümüne dönülür.

2-Tablo:

Bu bölümde herbir akışkan için kullanımı en yaygın olan üç formda tablo oluşturma imkanı sağlanmıştır. Bu tablo formları;

1)Doyma sıcaklığı,

2)Doyma basıncı,

3)Sıcaklık ve basınç

değerlerinin değişimine göredir. Burada herbir tablo formu için istenen değer aralıkları ve adım kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Çok basit bir yönetim programıyla diğer özeliklerin değişimine bağlı olarakta tabloların oluşturulması mümkündür. Tablo değerlerinin hesaplanmasında, girilen özeliğe bağlı olarak hesaplama bölümünde anlatılan yol izlenir.

3-Diyagram:

Bu bölümde verilen akışkanlara ait Lnp-h ve T-s diyagramları çizilebilmektedir. Ayrıca her iki diyagram aynı anda ekranda görüntülenebilir. Bu diyagramların çizilmesinde, önceden programın tablo ve hesaplama bölümleri kullanılarak herbir akışkan için hazırlanmış olan data dosyaları kullanılmaktadır. Diyagram izimi data dosyaları kullanılmaksızın hesaplama bölümü kullanılarakta yapılabilir. Ancak bu durumda hassas bir çizim elde edebilmek için gereken çok sayıda nokta için hesaplama yapılarak diyagramın çizilmesi oldukça yavaş gerçekleşmektedir. Hazır data dosyaları kullanılarak diyagramların çizilmesi çok daha hızlı olmaktadır. Çizim için herbir akışkan için dört tane data dosyası kullanılmaktadır. Bunlar:

- 1.LnP-h diyagramı için doyma eğrisi dataları,
 - 2.LnP-h diyagramı için T=st eğrileri dataları,
 - 3.T-s diyagramı için doyma eğrisi dataları,
 - 4.T-s diyagramı için P=st eğrileri dataları
- dır. Bu data dosyaları şu şekilde oluşturulmuştur;

Önce akışkana ait kritik değerler gözönüne alınır. Örneğin F12 için:

$$\begin{aligned}
 T_k &= 385.17 \text{ K} & , & & P_k &= 4.116 \text{ MPa} \\
 v_k &= 0.017 \text{ m}^3/\text{kg} & , & & h_k &= 209.51 \text{ kJ/kg} \\
 s_k &= 695 \text{ J/kg.K}
 \end{aligned}$$

1-)>LnP-h diyagramındaki doyma eğrisine ait değerler tablo bölümünün doyma basıncı değeri kullanılarak elde edilir; basınç $P=0.04\text{--}4.116 \text{ MPa}$ değerleri arasında logaritmik olarak grafik için istenen hassasiyette artırılır. Bu doyma basıncı değerlerine karşılık gelen doymuş sıvı ve doymuş buhar entalpileri tablo bölümünde açıklandığı gibi hesaplanır. Herbir adımda doyma basıncı, doymuş sıvı entalpisi ve doymuş buhar entalpisi F12-PH.DOY data dosyasına kaydedilir.

2-)>Yine LnP-h diyagramındaki T=st eğrileri için F12-PH.TST isimli data dosyası şu şekilde oluşturulur. Önce eğrileri çizilecek olan sıcaklık değerleri belirlenir. F12 için $T=280\text{--}560 \text{ K}$ değerleri arasında 40 K'lık artımlarla sekiz adet T=st eğrisi çizilmektedir. Bu dosyanın oluşturulması için tablo bölümünün 3>T,P kısmı kullanılmıştır. Herbir sıcaklık değeri için basınç değeri 0.04MPa'dan, eğer o sıcaklığa karşılık gelen doyma basıncı P_k 'dan küçükse bu doyma basıncı değerine kadar, büyükse o sıcaklıkta kritik özgül hacime (v_k) karşılık gelen basınç değerine kadar logaritmik olarak artırılır. Herbir adımda o sıcaklık değeri ve artırılan basınç değeri çiftine karşılık gelen entalpi değeri kızgın buhar altprogramı kullanılarak hesaplanır. Ayrıca bu adımlarda sıcaklık, basınç ve entalpi değerleri F12-PH.TST data dosyasına kaydedilir.

3-)T-s diyagramındaki doyma eğrisi çiziminde kullanılan F12-TS.DOY dosyası ise tablo bölümünün doyma sıcaklığı kısmı kullanılarak oluşturulmuştur. Sıcaklık değeri referans sıcaklıktan (F12 için $T_o=200$ K) kritik sıcaklığa kadar ($T_k=383$ K) 2 K'lik adımlarla artırılarak o doyma sıcaklığına karşılık gelen doymuş sıvı ve doymuş buhar entropileri hesaplanıp, bu üç özellik (T_d, s_s, s_b) data dosyasına kaydedilir.

4-)T-s diyagramındaki $P=st$ eğrileri ise yine tablo bölümünün 3)P,T kısmı kullanılarak oluşturulmuştur. Önce eğrileri çizilecek olan basınç değerleri belirlenir. F12 için 0.05, 0.2, 0.5, 1, 2, 3 MPa değerlerinin eğrileri çizilmiştir. Herbir basınç için önce o basınca karşılık gelen doyma sıcaklığı, doymuş sıvı ve doymuş buhar entropileri hesaplanıp F12-TS.PST data dosyasına kaydedilir. Daha sonra yine herbir $P=st$ değeri için, sıcaklık doyma sıcaklığından 500 K'e kadar belirli adımlarla artırılarak kızgın buhar entropi değeri hesaplanır. Sıcaklık ve hesaplanan entropi değerleri her adımda dosyaya kaydedilir.

Grafik çizimi için kullanılan, diğer akışkanlara ait bütün data dosyaları bu şekilde oluşturulmuştur.

4-Diyagram ve Çevrim Çizimi:

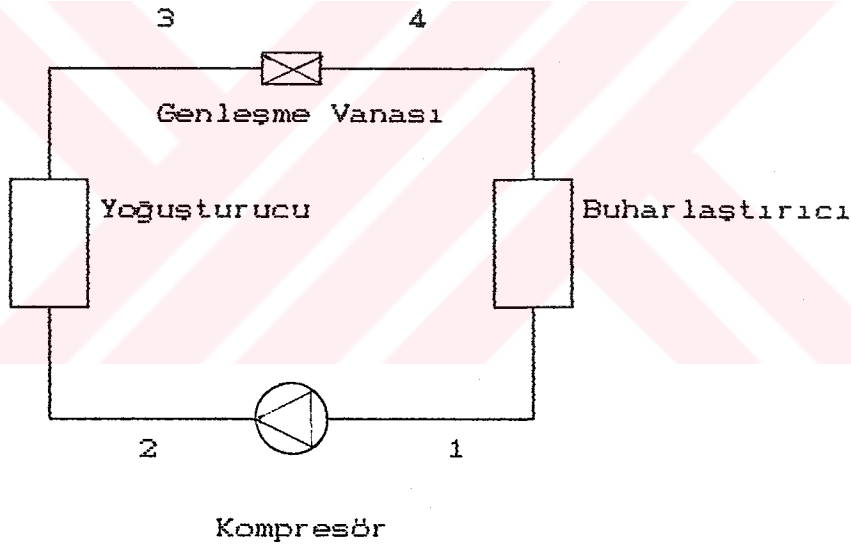
Bu bölüm soğutma sistemlerinin çevrim analizlerinin daha anlaşılır bir şekilde yapılabilmesi amacıyla hazırlanmıştır. Çevrim çizimi için soğutma sistemine ait en genel üç karakteristik değerın tanımlanması yeterli olmaktadır. Bunlar;

- 1-Buharlaştırıcı basıncı veya sıcaklığı,
- 2-Yoğusturucu basıncı veya sıcaklığı,
- 3-Kompresör çıkış sıcaklığı

dır. Bu bölümün çağrılmasıyla başlangıçta bu değerler tanımlanır. Bu üç değerin girilmesiyle, soğutma çevrimi analizi kullanılarak hazırlanan yönetim programı, gerekli olan altprogramlara dallanarak çevrim noktalarına ait özelliklerin hesaplanmasını sağlar. Ardından diyagram ve

çevrim çizimi bölümü üzerinden tanımlaması yapılan soğutma çevrimi $\ln P-h$ ve $T-s$ diyagramlarında ayrı ayrı veya aynı anda çizilebilir. Ayrıca çevrime ait noktaların özellikleri de görüntülenebilir. Yine bu bölüm üzerinden yeni çevrim çizimi için yeni tanımlamalar yapılabilir.

Çizilen soğutma çevrimi şu karakterdedir (Şekil 3.1.3) : Kompresör girişinde akışkan doymuş buhar fazındadır. Ayrıca yoğusturucu çıkışı doymuş sıvı olarak alınmıştır. Genişleme vanasında ise sabit entalpide genişleme gerçekleşmektedir.



Şekil 3.1.3 : Soğutma sistemi

3.2. Kullanılan Altprogramlar

Hazırlanan programda kullanılan önemli alt programların listesi aşağıda çıkarılmıştır.

- 1.Katsayıların okutulması ve grafik altprogramı için kullanılacak olan dosyaların belirlenmesi
- 2.Yazılım1: Kızgın buhar özelliklerinin yazılımı
- 3.Yazılım2: Doyma özelliklerinin yazılımı
- 4.Kızgın buhar özelliklerinin hesaplanması
(P,T,v,h,s) : Girilen özellik çiftine bağlı olarak iterasyon programları
- 5.Doyma özelliklerinin hesaplanması: Giriş P_d veya T_d , çıkış v_g , v_b , h_g , h_b , s_g , s_b
- 6.Kızgın buharın özellikleri: Giriş T,v , çıkış P,h,s
7. $P=P(T,v)$ fonksiyonu ve kısmi türevleri:
 $PH, (\partial P / \partial T), (\partial P / \partial v)$
8. $s=s(T,v)$ fonksiyonu ve kısmi türevleri:
 $SH, (\partial s / \partial T), (\partial s / \partial v)$
9. $u=u(T,v)$ fonksiyonu ve kısmi türevleri:
 $UH, (\partial u / \partial T), (\partial u / \partial v)$
10. $h=P(T,v)$ fonksiyonu ve kısmi türevleri:
 $HH, (\partial h / \partial T), (\partial h / \partial v)$
11. $P_d=P_d(T)$ fonksiyonu ve kısmi türevi:
 $PDH, (\partial P / \partial T)_d$
12. $\rho_g=\rho_g(T)$ fonksiyonu
- 13.LnP-h diyagramı
- 14.T-s diyagramı
- 15.LnP-h & T-s diyagramı
- 16.Çevrim çizimi: LnP-h diyagramında
- 17.Çevrim çizimi: T-s diyagramında
- 18.Çevrim noktalarının özellikleri

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bilgisayar yardımıyla freon türünden soğutucu akışkanların termodinamik özelliklerinin hesaplanması ve tablo ve diyagramlarının oluşturulması için hazırlanan program sistem tasarımlarında ve mühendislik eğitiminde etkin bir şekilde kullanılabilir. Programdan elde edilen sonuçlar ve Reynolds tarafından verilen değerler, benzer yöntem ve özellik bağıntıları kullanılarak düzenlenmiş çeşitli kaynaklardaki[6,7] tablo değerleriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma F12 için doyma ve kızgın buhar bölgesinde olmak üzere iki grupta yapılmış ve Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmiştir. Tablolarda görüldüğü gibi Reynolds'un elde ettiği değerlerle Öztürk[7] tarafından verilen değerler arasında buharlaşma entalpisi için ortalama 1kJ/kg , buharlaşma esnasındaki entropi değişimi için ise ortalama 0.003kJ/kg.K mertebesinde farklar vardır. Vargaftik[6] tarafından verilen değerlerde bu farklar biraz daha fazladır. Diğer soğutucu akışkanlar için de bu farkların aynı değerlerde olduğu görülmüştür.

Ayrıca farklı giriş özellik değerleri için programdan elde edilen sonuçlarla aynı denklemler kullanılarak Reynolds tarafından verilen değerlerin karşılaştırması Tablo 3.3'te verilmiştir. Yine bu tablo F12 için doyma ve kızgın buhar bölgesindeki giriş özellik değerlerine göre düzenlenmiştir. Programdan elde edilen sonuçlardaki hatanın ya sıfır yada mühendislik açısından ihmal edilebilecek seviyede olduğu görülmektedir. Kullanılan Newton-Raphson metodunda hassasiyetin istenen ölçüde ayarlanabilmesi hatanın bu derecede küçük olmasını sağlamıştır.

Program kullanılarak farklı giriş özellik çiftleri için diğer özelliklerin hesaplarının yapılabilmesi çevrim analizinde büyük kolaylık oluşturmaktadır. Adı geçen her bir akışkan için $\ln P-h$ ve $T-s$ diyagramlarının çizilmesi ve bunlar üzerinde soğutma sistemleri çevrimlerinin gösterilmesi anlaşılabilirlik açısından sistem tasarımlarına ve mühendislik eğitime yardımcı olmaktadır.

Ayrıca detaylı açıklamaların yapıldığı bu program ilerde yapılabilecek olan genel amaçlı bir tasarım programında etkin olarak kullanılabilir. Programın birçok altprogramlara bölünmüş olması ve farklı giriş özellik değerleri için diğer özelliklerin hesaplanabilmesi böyle bir kullanımı kolaylaştıracaktır.

Tablo 3.1. Freon 12 için programdan elde edilen ve çeşitli kaynaklardan derlenen doyma özellikleri

T_d °C	Kaynaklar	P_d MPa	$v_g \times 10^3$ $\frac{m^3}{kg}$	v_b $\frac{m^3}{kg}$	h_g kJ/kg	h_{gb} kJ/kg	h_b kJ/kg	s_g kJ/kg.K	s_{gb} kJ/kg.K	s_b kJ/kg.K
-50	Program Reynolds[1] Vargaftik[6] Öztürk[7]	0.03910 0.03922 0.03933 0.03920	0.648 0.648 0.648 0.647	0.3834 0.3849 0.3830 0.3841	20.06 20.06 456.42 -8.77	173.73 173.73 175.85 174.19	193.79 193.79 632.27 165.42	0.0948 0.0948 0.8227 -0.0384	0.7786 0.7786 0.7880 0.7806	0.8734 0.8734 1.6107 0.7422
-30	Program Reynolds[1] Vargaftik[6] Öztürk[7]	0.1003 0.1004 0.10143 0.1004	0.672 0.672 0.673 0.672	0.1595 0.1596 0.1591 0.1601	37.70 37.70 473.41 8.87	165.34 165.34 168.40 166.02	203.04 203.04 641.81 174.89	0.1703 0.1703 0.8956 0.0371	0.6800 0.6800 0.6926 0.6828	0.8503 0.8503 1.5882 0.7199
0	Program Reynolds[1] Vargaftik[6] Öztürk[7]	0.3085 0.3085 0.3125 0.3086	0.716 0.716 0.717 0.716	0.05541 0.05545 0.05530 0.05573	64.90 64.90 500.00 36.12	151.47 151.47 153.74 152.47	216.37 216.37 655.74 188.59	0.2752 0.2752 1.0000 0.1422	0.5546 0.5545 0.5688 0.5582	0.8298 0.8297 1.5688 0.7004
30	Program Reynolds[1] Vargaftik[6] Öztürk[7]	0.7446 0.7448 0.7529 0.7454	0.774 0.774 0.774 0.775	0.02351 0.02353 0.02351 0.02367	93.43 93.43 529.08 64.72	135.03 135.03 138.98 136.26	228.46 228.46 668.07 200.98	0.3731 0.3731 1.1000 0.2404	0.4455 0.4455 0.4583 0.4495	0.8186 0.8186 1.5583 0.6899
60	Program Reynolds[1] Vargaftik[6] Öztürk[7]	1.5254 1.5265 1.5340 1.5291	0.858 0.858 0.857 0.859	0.01111 0.01112 0.01111 0.01120	124.58 124.59 561.43 95.79	113.53 113.51 115.93 115.90	238.11 238.10 677.36 210.39	0.4690 0.4690 1.2006 0.3360	0.3408 0.3408 0.3480 0.3455	0.8098 0.8098 1.5486 0.6815
100	Program Reynolds[1] Vargaftik[6] Öztürk[7]	3.3430 3.3440 3.360 3.3617	1.113 1.113 1.112 1.109	0.00391 0.00391 0.00384 0.00404	177.13 177.21 614.79 146.01	61.85 61.86 61.32 65.65	238.98 238.87 676.11 213.66	0.6125 0.6126 1.3468 0.4785	0.1657 0.1654 0.1643 0.1759	0.7782 0.7780 1.5111 0.6544

$$h_{gb} = h_b - h_g$$

$$s_{gb} = s_b - s_g$$

Tablo 3.2. Freon 12 için programdan elde edilen ve çeşitli kaynaklardan derlenen kızgın buhar özellikleri

P MPa	T °C	Kaynaklar	v m ³ /kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K	Δh kJ/kg	Δs kJ/kg.K
0.1	30	Program	0.2045	238.86	0.9820	210.01	0.8488
		Reynolds[1]	0.2056	238.87	0.9821	210.02	0.8489
		Vargaftik[6]	0.2050	676.70	1.7180	211.86	0.8583
		Öztürk[7]	0.20463	210.29	0.8501	210.29	0.8501
0.2	40	Program	0.1040	243.81	0.9517	214.96	0.8185
		Reynolds[1]	0.1040	243.82	0.9516	214.97	0.8184
		Vargaftik[6]	0.1040	681.8	1.688	216.96	0.8283
		Öztürk[7]	0.10407	215.30	0.8190	215.30	0.8190
0.7	100	Program	0.03418	279.17	0.9730	250.32	0.8398
		Reynolds[1]	0.03418	279.17	0.9730	250.32	0.8398
		Vargaftik[6]	0.035	716.85	1.7085	252.01	0.8488
		Öztürk[7]	0.03420	250.56	0.8409	250.56	0.8409
3	220	Program	0.01005	355.93	1.0595	327.08	0.9253
		Reynolds[1]	0.01005	355.92	1.0598	327.07	0.9266
		Vargaftik[6]	0.01001	792.6	1.792	327.76	0.9323
		Öztürk[7]	0.01004	327.84	0.9290	327.84	0.9290
1	60	Program	0.0194	246.81	0.8591	217.96	0.7259
		Reynolds[1]	0.0194	246.79	0.8590	217.94	0.7258
		Vargaftik[6]	0.0195	685.7	1.597	220.86	0.7373
		Öztürk[7]	0.01948	218.81	0.7288	218.81	0.7288
1	100	Program	0.0231	276.45	0.9432	247.60	0.8100
		Reynolds[1]	0.0231	276.45	0.9431	247.60	0.8099
		Vargaftik[6]	0.0232	714.3	1.678	249.46	0.8183
		Öztürk[7]	0.02314	247.91	0.8113	247.91	0.8113

$$\Delta h = h - h_{s0}$$

$$\Delta s = s - s_{s0}$$

h_{s0} : -40°C'deki doymuş sıvı entalpisi

s_{s0} : -40°C'deki doymuş sıvı entropisi

Tablo 3.3. Freon 12 için değişik giriş özelliklerine göre programdan elde edilen sonuçlarla Reynolds tarafından verilen değerlerin karşılaştırılması

a) Doyma bölgesi için

Giriş Özelliği		P_d MPa	T_d °C	$v_s \times 10^3$ m^3/kg	v_b m^3/kg	h_s kJ/kg	h_b kJ/kg	s_s kJ/kg.K	s_b kJ/kg.K
T_d	Program Reynolds[1]	0.1954 0.1954	260	0.695 0.695	0.085389 0.08539	52.85 52.85	210.64 210.64	0.2303 0.2303	0.8372 0.8372
T_d	Program Reynolds[1]	0.6848 0.6847	300	0.767 0.767	0.025555 0.02557	90.34 90.34	227.28 227.28	0.3630 0.3630	0.8195 0.8195
T_d	Program Reynolds[1]	2.6279 2.628	360	0.989 0.989	0.005723 0.005724	157.27 157.27	241.86 241.86	0.5604 0.5604	0.7953 0.7953
P_d	Program Reynolds[1]	0.12	247.43 247.43	0.678 0.678	0.134928 0.1349	41.51 41.52	204.99 204.99	0.1858 0.1858	0.8465 0.8465
P_d	Program Reynolds[1]	0.8	305.90 305.91	0.780 0.780	0.021884 0.02188	96.15 96.15	229.48 229.48	0.3819 0.3819	0.8178 0.8178
P_d	Program Reynolds[1]	2.0	346.04 346.04	0.910 0.910	0.008135 0.008135	139.43 139.43	240.82 240.82	0.5115 0.5115	0.8045 0.8045

b) Kızgın buhar bölgesi için

Giris Özelik Çifti		P MPa	T °C	v m ³ /kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K
1) T,v	Program Reynolds[1]	0.14 0.14	360	0.1742	275.03 275.03	1.0685 1.0685
2) T,P	Program Reynolds[1]	2.0	400	0.011506 0.01151	287.88 287.89	0.9312 0.9313
3) P,v	Program Reynolds[1]	0.2	370.10 370	0.1248	281.30 281.23	1.0616 1.0614
4) T,s	Program Reynolds[1]	3.0007 3.0	420	0.007584 0.00759	295.63 295.64	0.9275
5) v,s	Program Reynolds[1]	0.5 0.5	409.96 410	0.05445	306.81 306.83	1.0657
6) T,h	Program Reynolds[1]	0.7002 0.7	350	0.031455 0.031456	262.78	0.9276 0.9277
7) v,h	Program Reynolds[1]	2.5006 2.5	560.00 560	0.01455	411.45	1.1771 1.1771
8) P,h	Program Reynolds[1]	0.05	340.00 340.00	0.464560 0.4646	262.75	1.1035 1.1035
9) P,s	Program Reynolds[1]	2.5	459.96 460	0.011127 0.01113	332.06 332.10	1.021
10) h,s	Program Reynolds[1]	4.0008 4	450.00 450	0.006052 0.00605	313.87	0.9539

KAYNAKLAR

- [1] REYNOLDS, W.C., Thermodynamics Properties in SI, graphs, tables and computational equations for 40 substances, Department of Mechanical Engineering Stanford University, (1979)
- [2] VAN WYLEN, G.J. ve SONNTAG, R.E., Fundamentals of Classical Thermodynamics, SI version, John Wiley and Sons., (1978)
- [3] REYNOLDS, W.C., Thermodynamics, McGraw Hill, (1965)
- [4] CENGEL, Y.A. ve BOLES, M.A., Thermodynamics, McGraw Hill, Newyork, (1989)
- [5] STOCKER, W.F., Design of Thermal Systems, McGraw Hill, (1968)
- [6] VARGAFTIK, N.B., Tables on The Thermophysical Properties of Liquids and Gases, John Wiley and Sons., (1975)
- [7] ÖZTÜRK, A. ve KILIÇ, A., Termodinamik Problemleri, İkinci Baskı, Seç Kitap Dağıtım, (1987)
- [8] BÜYÜKTÜRK, A.R., Termodinamik Uygulama Esasları, Cilt 2, Uludağ Üniversitesi Basımevi, (1985)
- [9] KAPTAN, İ.N., Soğutucu Akışkan Özelliklerini Hesaplayan Bir Program, İ.T.U. Yüksek Lisans Tezi, (1988)

EK A : TEMEL DENKLEMLER

1) $P=P(T,v)$: Hal denklemi

$$P=P(T,v)= \frac{R T}{v-b} + \sum_{i=2}^5 \frac{1}{(v-b)^i} \left[A_i + B_i T + C_i e^{-kT/T_k} \right] \\ + \frac{A_6 + B_6 T + C_6 e^{-kT/T_k}}{e^{av} (1 + c e^{av})}$$

2) $c_{vo}=c_{vo}(T)$: Mükemmel gaz özgül ısı denklemi

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

3) $P_d=P_d(T)$: Buharlaşma eğrisi denklemi

1) F12 için,

$$\ln P_d = F_1 + \frac{F_2}{T} + F_3 \ln T + F_4 T$$

11) F23 için,

$$\ln P_d = F_1 + \frac{F_2}{T} + F_3 \ln T + F_4 T + F_5 T^2 + F_6 T^3$$

111) F11, F13, F14, F22, F114, FC-318, F500, F502 için

$$\ln P_d = F_1 + \frac{F_2}{T} + F_3 \ln T + F_4 T + F_5 \frac{\gamma - T}{T} \ln(\gamma - T)$$

4) $\rho_s=\rho_s(T)$: Doymuş sıvı eğrisi denklemi

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

$$X = 1 - \frac{T}{T_k}$$

EK B : SOĞUTUCU AKIŞKANLARA AİT TEMEL DENKLEMLERİN KATSAYILARI

FREON 11

$M = 137.38 \text{ kg/kmol}$	$\rho_k = 553.76 \text{ kg/m}^3$	$T_o = 200 \text{ K}$
$T_k = 471.15 \text{ K}$	$h_k = 288.78 \text{ kJ/kg}$	$u_o = 2.0281647 \times 10^5 \text{ J/kg}$
$P_k = 4.4092 \text{ MPa}$	$s_k = 850.7 \text{ J/kg.K}$	$s_o = 873.60402 \text{ J/kg.K}$

P-v-T denklemi :

$$\begin{aligned}
 R &= 60.5223 \\
 b &= 1.18612854 \times 10^{-4} \\
 A_2 &= -8.40175225 \times 10^{-1} \\
 A_3 &= -4.25086552 \times 10^{-2} \\
 A_4 &= 1.76692517 \times 10^{-4} \\
 A_5 &= -1.54214418 \times 10^{-7} \\
 A_6 &= 7.29123628 \times 10^{-11} \\
 B_2 &= 6.37728282 \times 10^{-2} \\
 B_3 &= 1.47201258 \times 10^{-4} \\
 B_4 &= -3.40248641 \times 10^{-7} \\
 B_5 &= 2.88102877 \times 10^{-10} \\
 B_6 &= -1.17554178 \times 10^{-9} \\
 C_2 &= -9.61156884 \times 10^{-2} \\
 C_3 &= 2.04712363 \\
 C_4 &= 0.0 \\
 C_5 &= -9.66486318 \times 10^{-7} \\
 C_6 &= -6.53078769 \times 10^{-8} \\
 k &= 4.5 \\
 \alpha &= 9290.73
 \end{aligned}$$

 c_{vo} denklemi

$$\begin{aligned}
 G_1 &= 9.97086420 \times 10^{-1} \\
 G_2 &= 2.10926018 \\
 G_3 &= -2.88089444 \times 10^{-3} \\
 G_4 &= 1.46480528 \times 10^{-6} \\
 G_5 &= -4.35229529 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

 ρ_s denklemi

$$\begin{aligned}
 D_1 &= 5.53759545 \times 10^{-2} \\
 D_2 &= 9.23276085 \times 10^{-2} \\
 D_3 &= 6.98922396 \times 10^{-2} \\
 D_4 &= -6.85969196 \times 10^{-2} \\
 D_5 &= 5.87985153 \times 10^{-2}
 \end{aligned}$$

 P_d denklemi

$$\begin{aligned}
 F_1 &= 9.8316515149 \times 10^{-1} \\
 F_2 &= -5.5485189388 \times 10^{-3} \\
 F_3 &= -1.2845967530 \times 10^{-1} \\
 F_4 &= 1.6613313807 \times 10^{-2} \\
 F_5 &= 3.1360535600 \times 10^{-2} \\
 \gamma &= 478.93
 \end{aligned}$$

FREON 12

$M = 120.93 \text{ kg/kmol}$	$\rho_k = 588.08 \text{ kg/m}^3$	$T_o = 200 \text{ K}$
$T_k = 385.17 \text{ K}$	$h_k = 209.51 \text{ kJ/kg}$	$u_o = 1.6970187 \times 10^5 \text{ J/kg}$
$P_k = 4.1159 \text{ MPa}$	$s_k = 695.0 \text{ J/kg.K}$	$s_o = 894.48764 \text{ J/kg.K}$

P-v-T denklemi :

$$\begin{aligned}
 R &= 68.7480 \\
 b &= 4.06366926 \times 10^{-4} \\
 A_2 &= -9.16210126 \times 10^{-1} \\
 A_3 &= 1.01049598 \times 10^{-1} \\
 A_4 &= -5.74640225 \times 10^{-5} \\
 A_5 &= 0.0 \\
 B_2 &= 7.71136428 \times 10^{-2} \\
 B_3 &= -5.67539138 \times 10^{-5} \\
 B_4 &= 0.0 \\
 B_5 &= 4.08193371 \times 10^{-11} \\
 C_2 &= -1.52524293 \times 10^{-3} \\
 C_3 &= 2.19982681 \\
 C_4 &= 0.0 \\
 C_5 &= -1.66307226 \times 10^{-7} \\
 k &= 5.475
 \end{aligned}$$

 c_{vo} denklemi

$$\begin{aligned}
 G_1 &= 3.389005260 \times 10^{-1} \\
 G_2 &= 2.507020671 \\
 G_3 &= -3.274505926 \times 10^{-3} \\
 G_4 &= 1.641736815 \times 10^{-6}
 \end{aligned}$$

 ρ_s denklemi

$$\begin{aligned}
 D_1 &= 5.580845400 \times 10^{-2} \\
 D_2 &= 8.544458040 \times 10^{-2} \\
 D_3 &= 0.0 \\
 D_4 &= 2.994077103 \times 10^{-2} \\
 D_5 &= 0.0 \\
 D_6 &= 3.521500633 \times 10^{-2} \\
 D_7 &= -5.047419739 \times 10^{-1}
 \end{aligned}$$

 P_d denklemi

$$\begin{aligned}
 F_1 &= 9.33438056 \times 10^{-1} \\
 F_2 &= -4.39618785 \times 10^{-3} \\
 F_3 &= -1.24715223 \times 10^{-1} \\
 F_4 &= 1.96060432 \times 10^{-2}
 \end{aligned}$$

FREON 13

$$M = 104.47 \text{ kg/kmol}$$

$$T_k = 302.0 \text{ K}$$

$$P_k = 3.8697 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 577.79 \text{ kg/m}^3$$

$$h_k = 177.26 \text{ kJ/kg}$$

$$s_k = 752.4 \text{ J/kg.K}$$

$$T_o = 150 \text{ K}$$

$$u_o = 1.5514713 \times 10^5 \text{ J/kg}$$

$$s_o = 1047.9552 \text{ J/kg.K}$$

P-v-T denklemi :

$$R = 79.5900$$

$$b = 2.9965352561 \times 10^{-4}$$

$$A_2 = -8.2852902033 \times 10^{-1}$$

$$A_3 = 9.8725559035 \times 10^{-2}$$

$$A_4 = -1.0744963678 \times 10^{-4}$$

$$A_5 = 3.4587476371 \times 10^{-8}$$

$$A_6 = 5.0873683031 \times 10^{-11}$$

$$B_2 = 1.1326045344 \times 10^{-1}$$

$$B_3 = -1.7124042321 \times 10^{-4}$$

$$B_4 = 2.5233687878 \times 10^{-7}$$

$$B_5 = -8.7021612764 \times 10^{-11}$$

$$B_6 = -9.2279585051 \times 10^{-8}$$

$$C_2 = -4.8938250202 \times 10^{-2}$$

$$C_3 = 9.5943985617 \times 10^{-1}$$

$$C_4 = 0.0$$

$$C_5 = -2.5327694644 \times 10^{-7}$$

$$C_6 = 0.0$$

$$k = 4.0$$

$$\alpha = 10011.5625$$

 c_{vo} denklemi

$$G_1 = 6.7072536000 \times 10^{-1}$$

$$G_2 = 2.1274805520$$

$$G_3 = -1.5722103888 \times 10^{-9}$$

 P_d denklemi

$$F_1 = 6.4251423714 \times 10^{-1}$$

$$F_2 = -3.4161026958 \times 10^{-3}$$

$$F_3 = -7.1723439130$$

$$F_4 = 1.0548780505 \times 10^{-2}$$

$$F_5 = 2.8030109130 \times 10^{-1}$$

$$\gamma = 303.33$$

 ρ_s denklemi

$$D_1 = 5.77786670 \times 10^{-2}$$

$$D_2 = 8.71328290 \times 10^{-2}$$

$$D_3 = 0.0$$

$$D_4 = 1.36361900 \times 10^{-2}$$

$$D_5 = 0.0$$

$$D_6 = 4.14557270 \times 10^{-2}$$

$$D_7 = 1.53601492 \times 10^{-2}$$

FREON 14

$$M = 86.01 \text{ kg/kmol}$$

$$T_k = 86.01 \text{ K}$$

$$P_k = 3.7450 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 625.68 \text{ kg/m}^3$$

$$h_k = 132.41 \text{ kJ/kg}$$

$$s_k = 714.2 \text{ J/kg.K}$$

$$T_o = 125 \text{ K}$$

$$u_o = 1.3349388 \times 10^5 \text{ J/kg}$$

$$s_o = 1203.7444 \text{ J/kg.K}$$

P-v-T denklemi :

$$R = 94.4698$$

$$b = 9.36417268 \times 10^{-5}$$

$$A_2 = -5.81197516 \times 10^{-1}$$

$$A_3 = 7.38765401 \times 10^{-3}$$

$$A_4 = 2.01175650 \times 10^{-5}$$

$$A_5 = -2.92947380 \times 10^{-8}$$

$$A_6 = 4.02572833 \times 10^{-11}$$

$$B_2 = 1.03268777 \times 10^{-1}$$

$$B_3 = 3.87338946 \times 10^{-5}$$

$$B_4 = -7.38580538 \times 10^{-8}$$

$$B_5 = 1.06640391 \times 10^{-10}$$

$$B_6 = -1.14970548 \times 10^{-9}$$

$$C_2 = -5.08957326 \times 10^{-2}$$

$$C_3 = 9.05455659 \times 10^{-1}$$

$$C_4 = 0.0$$

$$C_5 = -3.16196531 \times 10^{-7}$$

$$C_6 = 0.0$$

$$k = 4.0$$

$$\alpha = 10591.4322$$

 c_{vo} denklemi

$$G_1 = 1.258381602 \times 10^{-2}$$

$$G_2 = 1.786415576$$

$$G_3 = -3.875045218 \times 10^{-4}$$

$$G_4 = -7.211410935 \times 10^{-7}$$

 P_d denklemi

$$F_1 = 5.33277610 \times 10^{-1}$$

$$F_2 = -3.04975772 \times 10^{-3}$$

$$F_3 = -4.69017025$$

$$F_4 = 2.68565551 \times 10^{-2}$$

$$F_5 = 7.70707795 \times 10^{-1}$$

$$\gamma = 235.56$$

 ρ_s denklemi

$$D_1 = 6.256826100 \times 10^{-2}$$

$$D_2 = 1.114382841 \times 10^{-3}$$

$$D_3 = 7.347063471 \times 10^{-1}$$

$$D_4 = 5.794158350 \times 10^{-2}$$

$$D_5 = -1.290928672 \times 10^{-2}$$

FREON 22

$$M = 86.48 \text{ kg/kmol}$$

$$T_k = 369.17 \text{ K}$$

$$P_k = 4.9776 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 524.77 \text{ kg/m}^3$$

$$h_k = 246.26 \text{ kJ/kg}$$

$$s_k = 826.3 \text{ J/kg.K}$$

$$T_o = 200 \text{ K}$$

$$u_o = 2.3237771 \times 10^5 \text{ J/kg}$$

$$s_o = 1243.6918 \text{ J/kg.K}$$

P-v-T denklemi :

$$R = 96.1467$$

$$b = 1.24855636 \times 10^{-4}$$

$$A_2 = -1.16981908 \times 10^{-2}$$

$$A_3 = -2.92952588 \times 10^{-2}$$

$$A_4 = 2.41919261 \times 10^{-4}$$

$$A_5 = -2.43458381 \times 10^{-7}$$

$$A_6 = 9.40022615 \times 10^{11}$$

$$B_2 = 1.16431240 \times 10^{-1}$$

$$B_3 = 2.30319412 \times 10^{-4}$$

$$B_4 = -6.79667708 \times 10^{-7}$$

$$B_5 = 6.30201766 \times 10^{-10}$$

$$B_6 = -2.07580650 \times 10^9$$

$$C_2 = -1.18409710 \times 10^3$$

$$C_3 = 2.48896136$$

$$C_4 = 0.0$$

$$C_5 = -1.20619716 \times 10^{-6}$$

$$C_6 = 0.0$$

$$k = 4.2$$

$$\alpha = 8781.3417$$

c_{vo} denklemi

$$G_1 = 1.17767818 \times 10^2$$

$$G_2 = 1.69972960$$

$$G_3 = -8.83043292 \times 10^{-4}$$

$$G_4 = 0.0$$

$$G_5 = 3.32541750 \times 10^5$$

P_d denklemi

$$F_1 = 7.1554148092 \times 10^1$$

$$F_2 = -4.8189575050 \times 10^3$$

$$F_3 = -7.8610312200$$

$$F_4 = 9.0806824483 \times 10^{-3}$$

$$F_5 = 4.4574670300 \times 10^{-1}$$

$$\gamma = 381.17$$

 ρ_s denklemi

$$D_1 = 5.24788060 \times 10^2$$

$$D_2 = 8.75161285 \times 10^2$$

$$D_3 = 5.88662575 \times 10^2$$

$$D_4 = -3.57093464 \times 10^2$$

$$D_5 = 3.27951374 \times 10^2$$

FREON 23

$$M = 70.02 \text{ kg/kmol}$$

$$T_k = 299.07 \text{ K}$$

$$P_k = 4.8358 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 525.02 \text{ kg/m}^3$$

$$h_k = 245.68 \text{ kJ/kg}$$

$$s_k = 1047.5 \text{ J/kg.K}$$

$$T_o = 150 \text{ K}$$

$$u_o = 2.5215188 \times 10^5 \text{ J/kg}$$

$$s_o = 1632.2250 \text{ J/kg.K}$$

P-v-T denklemi :

$$R = 118.7482$$

$$b = 7.80347723 \times 10^{-5}$$

$$A_2 = -1.25740395 \times 10^2$$

$$A_3 = -2.09263831 \times 10^{-2}$$

$$A_4 = 2.16566424 \times 10^{-4}$$

$$A_5 = -2.52905160 \times 10^{-7}$$

$$A_6 = 5.17269509 \times 10^{11}$$

$$B_2 = 1.67967396 \times 10^{-1}$$

$$B_3 = 2.33504859 \times 10^{-4}$$

$$B_4 = -6.94467544 \times 10^{-7}$$

$$B_5 = 7.59664683 \times 10^{-10}$$

$$B_6 = -1.38278797 \times 10^9$$

$$C_2 = -4.29323755 \times 10^3$$

$$C_3 = 9.96617861$$

$$C_4 = 0.0$$

$$C_5 = -4.83394763 \times 10^{-6}$$

$$C_6 = 0.0$$

$$k = 5.5$$

$$\alpha = 8329.62$$

c_{vo} denklemi

$$G_1 = 3.193727465 \times 10^2$$

$$G_2 = -5.698757731 \times 10^{-2}$$

$$G_3 = 5.299352295 \times 10^{-3}$$

$$G_4 = -5.994244055 \times 10^{-6}$$

P_d denklemi

$$F_1 = 6.81234858 \times 10^2$$

$$F_2 = -1.01732931 \times 10^4$$

$$F_3 = -1.44514230 \times 10^2$$

$$F_4 = 1.00348278$$

$$F_5 = -1.58761756 \times 10^{-3}$$

$$F_6 = 1.26698956 \times 10^{-6}$$

 ρ_s denklemi

$$D_1 = 5.250191523 \times 10^2$$

$$D_2 = 1.015217930 \times 10^3$$

$$D_3 = -4.053534286 \times 10^2$$

$$D_4 = 2.309256114 \times 10^3$$

$$D_5 = -1.700088257 \times 10^3$$

FREON 114

$M = 170.94 \text{ kg/kmol}$
 $T_k = 418.86 \text{ K}$
 $P_k = 3.2675 \text{ MPa}$

$\rho_k = 581.79 \text{ kg/m}^3$
 $h_k = 249.17 \text{ kJ/kg}$
 $s_k = 789.1 \text{ J/kg.K}$

$T_o = 200 \text{ K}$
 $u_o = 1.4737318 \times 10^5 \text{ J/kg}$
 $s_o = 690.58908 \text{ J/kg.K}$

P-v-T denklemi :

$R = 48.6567$
 $b = 3.6925473671 \times 10^{-4}$
 $A_2 = -6.4104114343 \times 10^1$
 $A_3 = 5.7127242624 \times 10^{-2}$
 $A_4 = -4.0395739859 \times 10^{-5}$
 $A_5 = 1.0471501742 \times 10^{-8}$
 $B_2 = 5.2242055542 \times 10^{-2}$
 $B_3 = -1.6104714461 \times 10^{-5}$
 $B_4 = 0.0$
 $B_5 = 7.3702304644 \times 10^{-12}$
 $C_2 = -1.7638764841 \times 10^2$
 $C_3 = 2.7453497239 \times 10^{-1}$
 $C_4 = 0.0$
 $C_5 = -6.6455468465 \times 10^{-8}$
 $k = 3.0$

c_{vo} denklemi

$G_1 = 7.3269 \times 10^1$
 $G_2 = 2.6301$
 $G_3 = -2.2654 \times 10^{-3}$

P_d denklemi

$F_1 = 6.7005038032 \times 10^1$
 $F_2 = -6.3454579033 \times 10^3$
 $F_3 = -6.3086761000$
 $F_4 = 2.8651999780 \times 10^{-3}$
 $F_5 = 7.8142111000 \times 10^{-1}$
 $\gamma = 426.86$

 ρ_s denklemi

$D_1 = 5.8179555 \times 10^2$
 $D_2 = 9.7947995 \times 10^2$
 $D_3 = 0.0$
 $D_4 = 2.6299362 \times 10^2$
 $D_5 = 0.0$
 $D_6 = 2.7995448 \times 10^2$
 $D_7 = 1.7938077 \times 10^1$

FREON 318

$M = 200.04 \text{ kg/kmol}$
 $T_k = 388.48 \text{ K}$
 $P_k = 2.7825 \text{ MPa}$

$\rho_k = 619.92 \text{ kg/m}^3$
 $h_k = 181.54 \text{ kJ/kg}$
 $s_k = 553.9 \text{ J/kg.K}$

$T_o = 250 \text{ K}$
 $u_o = 1.1260471 \times 10^5 \text{ J/kg}$
 $s_o = 553.15488 \text{ J/kg.K}$

P-v-T denklemi :

$R = 41.5628$
 $b = 3.75279614 \times 10^{-4}$
 $A_2 = -5.09125078 \times 10^1$
 $A_3 = 4.44191073 \times 10^{-2}$
 $A_4 = -2.57248397 \times 10^{-5}$
 $A_5 = 3.98047697 \times 10^{-9}$
 $B_2 = 4.76339868 \times 10^{-2}$
 $B_3 = -2.07196888 \times 10^{-5}$
 $B_4 = 0.0$
 $B_5 = 9.73125201 \times 10^{-12}$
 $C_2 = -7.66941799 \times 10^2$
 $C_3 = 1.11357942$
 $C_4 = 0.0$
 $C_5 = -2.51636825 \times 10^{-7}$
 $k = 5.0$

c_{vo} denklemi

$G_1 = 9.427759077 \times 10^1$
 $G_2 = 2.787714064$
 $G_3 = -2.236127054 \times 10^{-3}$
 $G_4 = 5.256534892 \times 10^{-7}$

P_d denklemi

$F_1 = 4.31929871 \times 10^1$
 $F_2 = -5.34749337 \times 10^3$
 $F_3 = -2.12840100$
 $F_4 = -4.96359519 \times 10^{-3}$
 $F_5 = 6.62589800 \times 10^{-1}$
 $\gamma = 396.67$

 ρ_s denklemi

$D_1 = 6.199159500 \times 10^2$
 $D_2 = 1.135043967 \times 10^3$
 $D_3 = 3.781929245 \times 10^2$
 $D_4 = 2.561227119 \times 10^2$
 $D_5 = -1.429552707 \times 10^2$

FREON 500

$$M = 99.31 \text{ kg/kmol}$$

$$T_k = 378.66 \text{ K}$$

$$P_k = 4.4258 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 496.57 \text{ kg/m}^3$$

$$h_k = 244.28 \text{ kJ/kg}$$

$$s_k = 804.0 \text{ J/kg.K}$$

$$T_o = 200 \text{ K}$$

$$u_o = 1.9934995 \times 10^5 \text{ J/kg}$$

$$s_o = 1053.0190 \text{ J/kg.K}$$

P-v-T denklemi :

$$R = 83.7133$$

$$b = 3.76703749 \times 10^{-4}$$

$$A_2 = -1.22257685 \times 10^{-2}$$

$$A_3 = 1.45279154 \times 10^{-1}$$

$$A_4 = -9.13792893 \times 10^{-5}$$

$$A_5 = -8.99528863 \times 10^{-9}$$

$$B_2 = 1.11850804 \times 10^{-1}$$

$$B_3 = -9.48606280 \times 10^{-5}$$

$$B_4 = 0.0$$

$$B_5 = 1.07667125 \times 10^{-10}$$

$$C_2 = -2.49646880 \times 10^3$$

$$C_3 = 4.60008366$$

$$C_4 = 0.0$$

$$C_5 = -1.37460901 \times 10^{-6}$$

$$k = 5.475$$

 c_{vo} denklemi

$$G_1 = 1.122210487 \times 10^2$$

$$G_2 = 2.138288123$$

$$G_3 = -1.318105011 \times 10^{-3}$$

 P_d denklemi

$$F_1 = 4.73707956 \times 10^1$$

$$F_2 = -4.27321106 \times 10^3$$

$$F_3 = -3.63691000$$

$$F_4 = 2.08360962 \times 10^{-3}$$

$$F_5 = 4.62940100 \times 10^{-1}$$

$$\gamma = 386.43$$

 ρ_s denklemi

$$D_1 = 4.965735000 \times 10^2$$

$$D_2 = 6.977978970 \times 10^2$$

$$D_3 = 1.196726116 \times 10^3$$

$$D_4 = -1.402948285 \times 10^3$$

$$D_5 = 9.047729355 \times 10^2$$

FREON 502

$$M = 111.64 \text{ kg/kmol}$$

$$T_k = 355.31 \text{ K}$$

$$P_k = 4.0747 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 560.65 \text{ kg/m}^3$$

$$h_k = 202.78 \text{ kJ/kg}$$

$$s_k = 698.2 \text{ J/kg.K}$$

$$T_o = 200 \text{ K}$$

$$u_o = 1.6813807 \times 10^5 \text{ J/kg}$$

$$s_o = 9.4570295 \text{ J/kg.K}$$

P-v-T denklemi :

$$R = 74.4743$$

$$b = 1.0425445600 \times 10^{-4}$$

$$A_2 = -8.7633628387 \times 10^1$$

$$A_3 = 5.8487769532 \times 10^{-2}$$

$$A_4 = -8.9814259017 \times 10^{-5}$$

$$A_5 = 5.7770975886 \times 10^{-8}$$

$$A_6 = -2.6377811471 \times 10^{11}$$

$$B_2 = 9.9521056148 \times 10^{-2}$$

$$B_3 = -2.6206099180 \times 10^{-5}$$

$$B_4 = 1.3240127692 \times 10^{-7}$$

$$B_5 = -9.3160674753 \times 10^{-11}$$

$$B_6 = 6.9270943008 \times 10^8$$

$$C_2 = -6.5157668337 \times 10^2$$

$$C_3 = 5.5817296336 \times 10^{-1}$$

$$C_4 = 2.3470347290 \times 10^{-3}$$

$$C_5 = -2.4297977885 \times 10^{-6}$$

$$C_6 = 1.0603021861 \times 10^{13}$$

$$k = 4.2$$

$$c = 7.0 \times 10^{-7}$$

$$\alpha = 9755.2665$$

 c_{vo} denklemi

$$G_1 = 8.5490269200 \times 10^1$$

$$G_2 = 2.2584619105$$

$$G_3 = -1.9113995193 \times 10^{-3}$$

$$G_4 = 5.3983516293 \times 10^{-7}$$

$$G_5 = 8.2777831437 \times 10^4$$

 P_d denklemi

$$F_1 = 3.2652346611 \times 10^1$$

$$F_2 = -4.5218998178 \times 10^3$$

$$F_3 = -3.6983496000 \times 10^{-1}$$

$$F_4 = -7.2380229337 \times 10^{-3}$$

$$F_5 = 6.1611391000 \times 10^{-1}$$

$$\gamma = 363.33$$

 ρ_s denklemi

$$D_1 = 5.6064750 \times 10^2$$

$$D_2 = 8.5673938 \times 10^2$$

$$D_3 = 1.0230082 \times 10^3$$

$$D_4 = -1.1225871 \times 10^3$$

$$D_5 = 7.7656102 \times 10^2$$

EK C : SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN KRİTİK ÖZELİKLERİ(1)

Madde	Kimyasal Formülü	M kg/kmol	T _k K	P _k MPa	ρ _k kg/m ³	h _k kJ/kg	s _k kJ/kg.K	T _o K
F11	CCl ₃ F	137.38	471.15	4.4092	553.76	288.78	850.7	200
F12	CCl ₂ F ₂	120.93	385.17	4.1159	588.08	209.51	695.0	200
F13	CClF ₃	104.47	302.00	3.8697	577.79	177.26	752.4	150
F14	CF ₄	88.01	227.50	3.7450	625.68	132.41	714.2	125
F22	CHClF ₂	86.48	369.17	4.9776	524.77	246.26	826.3	200
F23	CHF ₃	70.02	299.07	4.8358	525.02	245.68	1047.5	150
F114	C ₂ Cl ₂ F ₄	170.94	418.86	3.2675	581.79	249.17	789.1	200
F318	C ₄ F ₈	200.04	388.48	2.7825	619.92	181.64	553.9	250
F500	(1)	99.31	378.86	4.4258	496.57	244.28	804.0	200
F502	(2)	111.64	355.31	4.0747	560.65	202.76	698.2	200

- (1) : F12 ve F152a 'nın azeotropik karışımı
(Kütlesel olarak %73.8 CCl₂F₂ ve %26.2 C₂H₄F₂)
- (2) : F22 ve F115 'in azeotropik karışımı
(Kütlesel olarak %48.8 CHClF₂ ve %51.2 C₂ClF₅)

EK D : PROGRAM LISTESI

```

10 CLS : KEY OFF
20 SAN=12 : SUN=10
30 LOCATE 5,SUN : PRINT "*****"
   ***"
40 LOCATE 6,SUN : PRINT "**
   **"
50 LOCATE 7,SUN : PRINT "**      SOGUTUCU AKISKAN OZELIKLERININ HESAPLANMASI
   ***"
60 LOCATE 8,SUN : PRINT "**                      VE
   ***"
70 LOCATE 9,SUN : PRINT "**  TERMODINAMIK TABLO VE DIYAGRAMLARININ HAZIRLANMASI
   ***"
80 LOCATE 10,SUN : PRINT "**
   ***"
90 LOCATE 11,SUN : PRINT "*****"
   *****"
100 LOCATE SAN,SUN : PRINT "**
    **"
110 LOCATE SAN+1,SUN :PRINT "**      BU PROGRAM YUKSEK LISANS TEZ CALISMASI OLARAK
    **"
120 LOCATE SAN+2,SUN : PRINT "**                      YAHYA DOGU
    **"
130 LOCATE SAN+3,SUN : PRINT "**                      TARAFINDAN HAZIRLANMISTIR.
    **"
140 LOCATE SAN+4,SUN : PRINT "**
    **"
150 LOCATE SAN+5,SUN : PRINT "**                      OCAK 1992
    **"
160 LOCATE SAN+6,SUN :PRINT "*****"
   *****"
170 A$=INKEY$ : IF A$="" THEN 170
180 REM ----- 5- AKISKAN SECIMI -----
190 CLS
200 CLEAR
210 SCREEN 2
220 WINDOW (-100,-100)-(650,250)
230 LINE (50,40)-(400,210),,B
240 LOCATE 5,30 : PRINT "AKISKAN SECIMI"
250 LOCATE 7,23 : PRINT "1- F 11          6- F 23"
260 LOCATE 8,23 : PRINT "2- F 12          7- F 114"
270 LOCATE 9,23 : PRINT "3- F 13          8- FC 318"
280 LOCATE 10,23 : PRINT "4- F 14          9- F 500"
290 LOCATE 11,23 : PRINT "5- F 22          10- F 502"
300 LOCATE 14,20 : INPUT "Seciminiz : ",AK
310 REM ** ALFA VE C KATSAYILARINA BAGLI OLARAK AKISKAN GRUPLARI
320 REM ** A=0      , C=0      : F12,F114,FC-318,F500 : AG=1
330 REM ** A.NE.0  , C=0      : F11,F13,F14,F22,F23 : AG=2
340 REM ** A.NE.0  , C.NE.0   : F502                  : AG=3
350 IF AK=2 OR AK=7 OR AK=8 OR AK=9 THEN AG=1 : GOTO 380
360 IF AK=10 THEN AG=3 : GOTO 380
370 AG=2 : GOTO 380
380 REM --- GOSUB KATSAYILARIN OKUTULMASI
390 GOSUB 7960
400 REM ----- ANA MENU -----
410 CLS
420 GOSUB 11440

```

```

430 LINE (50,40)-(400,210),,B
440 LOCATE 5,30 : PRINT "ANA MENU"
450 LOCATE 7,22 : PRINT "1- HESAPLAMA"
460 LOCATE 8,22 : PRINT "2- TABLO"
470 LOCATE 9,22 : PRINT "3- DIYAGRAM"
480 LOCATE 10,22 : PRINT "4- DIYAGRAM & CEVRIM CIZIMI"
490 LOCATE 11,22 : PRINT "5- YENI AKISKAN SECIMI"
500 LOCATE 12,22 : PRINT "6- CIKIS"
510 LOCATE 14,20 : INPUT "Seciminiz : ";ILKS
520 ON ILKS GOSUB 560,670,820,940,180,540
530 GOTO 410
540 CLS : SCREEN 0 : END
550 REM ----- 1- HESAPLAMA -----
560 CLS
570 GOSUB 11440
580 LINE (50,40)-(400,210),,B
590 LOCATE 5,30 : PRINT "1- HESAPLAMA"
600 LOCATE 7,22 : PRINT "1- KIZGIN BUHAR OZELIKLERI"
610 LOCATE 8,22 : PRINT "2- DOYMA OZELIKLERI"
620 LOCATE 9,22 : PRINT "3- Ana Menu"
630 LOCATE 14,20 : INPUT "Seciminiz : ";HSP
640 ON HSP GOSUB 1650,1920,410
650 GOTO 560
660 REM ----- 2- TABLO -----
670 CLS
680 GOSUB 11440
690 LINE (50,40)-(420,210),,B
700 LOCATE 5,30 : PRINT "2- TABLO"
710 LOCATE 7,22 : PRINT "1- Td > Pd,vs,vb,hs,hb,ss,sb"
720 LOCATE 8,22 : PRINT "2- Pd > Td,vs,vb,hs,hb,ss,sb"
730 LOCATE 9,22 : PRINT "3- P,T > v,h,s"
740 LOCATE 10,22 : PRINT "4- Ana Menu"
750 LOCATE 14,20 : INPUT "Seciminiz : ";TABL
760 CLS
770 ON TABL GOSUB 2310,2530,2750,410
780 LOCATE 23,5 : PRINT "DEVAM ETMEK ICIN BIR TUSA BASINIZ"
790 A$=INKEY$ : IF A$="" THEN 780
800 GOTO 670
810 REM ----- 3- DIYAGRAM -----
820 CLS
830 GOSUB 11440
840 LINE (50,40)-(400,210),,B
850 LOCATE 5,30 : PRINT "3- DIYAGRAM"
860 LOCATE 7,22 : PRINT "1- LnP-h"
870 LOCATE 8,22 : PRINT "2- T-s"
880 LOCATE 9,22 : PRINT "3- LnP-h & T-S"
890 LOCATE 10,22 : PRINT "4- Ana Menu"
900 LOCATE 14,20 : INPUT "Seciminiz : ";DIY
910 ON DIY GOSUB 8630,9440,10220,410
920 A$=INKEY$ : IF A$="" THEN 920
930 GOTO 820
940 REM ----- 4- CEVRIM CIZIMI -----
950 GOTO 1110
960 CLS
970 GOSUB 11440
980 LINE (50,40)-(400,210),,B
990 LOCATE 5,26 : PRINT "4- CEVRIM CIZIMI"
1000 LOCATE 7,22 : PRINT "1- NOKTALARIN TANIMLANMASI"

```

```

1010 LOCATE 8,22 : PRINT "2- NOKTALARIN OZELIKLERI"
1020 LOCATE 9,22 : PRINT "3- LnP-h"
1030 LOCATE 10,22 : PRINT "4- T-s"
1040 LOCATE 11,22 : PRINT "5- LnP-h & T-s"
1050 LOCATE 12,22 : PRINT "6- Ana Menu"
1060 LOCATE 14,20 : INPUT "Seciminiz : ";CC
1070 ON CC GOSUB 1100,11300,10780,11060,10220,410
1080 A$=INKEY$ : IF A$="" THEN 1080
1090 GOTO 960
1100 REM -----
1110 CLS
1120 LINE (-100,-100)-(650,250),,B
1130 GOSUB 10560
1140 GOSUB 11480
1150 LOCATE 9,10 : PRINT "CEVRIM NOKTALARINA AIT DEGERLER"
1160 LOCATE 10,10 : PRINT "-----"
1170 LOCATE 11,2 : PRINT "-Buharlastirici (1-basinci/2-sicakligi):"
1180 LOCATE 12,5 : PRINT "Buharlastirici basinci      =      [Pa]"
1190 LOCATE 13,5 : PRINT "Buharlastirici sicakligi      =      [K]"
1200 LOCATE 14,2 : PRINT "-Yogusturucu (1-basinci/2-sicakligi):"
1210 LOCATE 15,5 : PRINT "Yogusturucu basinci          =      [Pa]"
1220 LOCATE 16,5 : PRINT "Yogusturucu sicakligi        =      [K]"
1230 LOCATE 17,2 : PRINT "-Kompresor cikis sicakligi    =      [K]"
1240 LOCATE 11,43 : INPUT "",BBS
1250 ON BBS GOTO 1260,1270
1260 LOCATE 12,33 : INPUT "",BB : GOTO 1280
1270 LOCATE 13,33 : INPUT "",BS
1280 LOCATE 14,43 : INPUT "",YBS
1290 ON YBS GOTO 1300,1310
1300 LOCATE 15,33 : INPUT "",YB : GOTO 1320
1310 LOCATE 16,33 : INPUT "",YS
1320 LOCATE 17,33 : INPUT "",KCS
1330 HAL(1)=2 : HAL(2)=3 : HAL(3)=1 : HAL(4)=4
1340 CI=1
1350 ON BBS GOTO 1360,1370
1360 PD=BB : GOSUB 5530 : GOTO 1380
1370 TD=BS : GOSUB 5470
1380 GOSUB 1560
1390 CI=2
1400 ON YBS GOTO 1410,1420
1410 P=YB : T=KCS : GOSUB 3830 : GOTO 1440
1420 T=YS : GOSUB 7630
1430 P=PDH : T=KCS : GOSUB 3830
1440 GOSUB 1560
1450 CI=3
1460 ON YBS GOTO 1470,1480
1470 PD=YB : GOSUB 5530 : GOTO 1490
1480 TD=YS : GOSUB 5470
1490 GOSUB 1560
1500 CI=4
1510 HC(CI)=HC(3) : TC(CI)=TC(1) : PC(CI)=PC(1)
1520 XKD=(HC(CI)-HSC(1))/(HC(1)-HSC(1))
1530 SC(CI)=SSC(1)+XKD*(SC(1)-SSC(1))
1540 VC(CI)=VSC(1)+XKD*(VC(1)-VSC(1))
1550 GOTO 960
1560 REM -----
1570 ON HAL(CI) GOTO 1580,1590,1600,1610

```

```

1580 PC(CI)=P/1000000! : TC(CI)=T : VC(CI)=VS : HC(CI)=HS/1000 : HBC(CI)=HB/1000
    : SC(CI)=SS/1000 : SBC(CI)=SB/1000 : GOTO 1630
1590 PC(CI)=P/1000000! : TC(CI)=T : VC(CI)=VB : VSC(CI)=VS : HC(CI)=HB/1000 : SC(CI)
    =SB/1000 : SSC(CI)=SS/1000 : HSC(CI)=HS/1000 : GOTO 1630
1600 PC(CI)=P/1000000! : TC(CI)=T : VC(CI)=V : HC(CI)=H/1000 : SC(CI)=S/1000 : G
    OTO 1630
1610 PC(CI)=P/1000000! : TC(CI)=T : VC(CI)=VS+XKD(CI)*(VB-VS)
1620 HC(CI)=(HS+XKD(CI)*(HB-HS))/1000 : SC(CI)=(SS+XKD(CI)*(SB-SS))/1000
1630 RETURN
1640 REM -----
1650 REM *** ALTPROGRAM KIZGIN BUHAR OZELIKLERI ***
1660 CLS
1670 GOSUB 11440
1680 LINE (50,35)-(420,210),,B
1690 LOCATE 5,25 : PRINT "KIZGIN BUHAR OZELIKLERI"
1700 LOCATE 6,22 : PRINT "GIRILECEK DEGER CIFTININ KODLARI"
1710 LOCATE 7,23 : PRINT "1- T , v          6- T , h"
1720 LOCATE 8,23 : PRINT "2- T , P          7- v , h"
1730 LOCATE 9,23 : PRINT "3- P , v          8- P , h"
1740 LOCATE 10,23 : PRINT "4- T , s          9- P , s"
1750 LOCATE 11,23 : PRINT "5- v , s          10- h , s"
1760 LOCATE 13,20 : PRINT "0- Hesaplama menu: "
1770 REM -----
1780 GOSUB 11480
1790 LOCATE 15,20 : INPUT "Seciminiz : ";DC
1800 IF DC=0 GOTO 560
1810 REM ** GIRILECEK DEGER CIFTININ KODLARI **
1820 REM ** 1)T,v 2)T,P 3)P,v 4)T,s 5)v,s **
    ** 6)T,h 7)v,h 8)P,h 9)P,s 10)h,s **
1830 REM ** GIRILECEK DEGER CIFTININ KODU : ";DC **
1840 REM ** 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 **
1850 ON DC GOSUB 3760,3820,3990,4140,4290,4440,4590,4740,4970,5200
1860 REM GOSUB YAZILIM
1870 GOSUB 2990
1880 LOCATE 20,5 : PRINT "DEVAM ETMEK ICIN BIR TUSA BASINIZ"
1890 A$=INKEY$ : IF A$="" THEN 1890
1900 GOTO 1650
1910 REM -----
1920 CLS
1930 GOSUB 11440
1940 LINE (50,40)-(400,210),,B
1950 LOCATE 5,30 : PRINT "DOYMA OZELIKLERI"
1960 LOCATE 7,23 : PRINT "1- Td >"
1970 LOCATE 8,23 : PRINT "2- Pd >"
1980 LOCATE 9,23 : PRINT "3- Hesaplama menu: "
1990 REM -----
2000 GOSUB 11480
2010 LOCATE 13,20 : INPUT "Seciminiz : ";DOYTP
2020 ON DOYTP GOSUB 5450,5510,560
2030 REM GOSUB YAZILIM 2
2040 GOSUB 3330
2050 LOCATE 12,3 : INPUT "ISLAK BUHAR BOLGESINDE HESAPLAMA YAPMAK ISTERMISINIZ :
    (E/H) :";IBB$
2060 IF IBB$="H" OR IBB$="h" THEN 1920
2070 IF IBB$="E" OR IBB$="e" THEN 2090
2080 GOTO 1920
2090 LOCATE 14,3 : PRINT "1)x , 2)v , 3)h , 4)s"
2100 LOCATE 15,3 : INPUT "Seciminiz : ",IBB

```

```

2690 GOSUB 5650
2700 PD=PD/1000000!
2710 REM GOSUB YAZILIM
2720 GOSUB 3330
2730 RETURN
2740 REM =====
2750 REM T , P > v , h , s
2760 GOSUB 11480
2770 ILKSAT=0 : SATNO=35
2780 LOCATE 1,3 : PRINT " TABLO : BASINC VE SICAKLIGA GORE KIZGIN BUHAR OZELIKLE
RI : "
2790 LOCATE 2,3 : PRINT "-----"
-----"
2800 LOCATE 3,5 : PRINT "Basinc degeri : P=          [MPa]"
2810 LOCATE 3,24 : INPUT "",BD
2820 IF BD>PK/1000000!-.2 THEN 2860
2830 LOCATE 5,3 : PRINT "Girilen basinctaki doyma degerleri:"
2840 PD=BD*1000000!
2850 GOSUB 5650 : PD=PD/1000000! : GOSUB 3400
2860 LOCATE 11,5 : PRINT "Sicakligin degisim araligi : "
2870 LOCATE 12,5 : PRINT "-----"
2880 LOCATE 13,5 : PRINT "TBAS=          [K] , TSON=          [K]"
2890 LOCATE 13,11 : INPUT "",TBAS
2900 LOCATE 13,33 : INPUT "",TSON
2910 LOCATE 14,5 : INPUT "T ADIM= ",TADIM
2920 CLS : P=BD*1000000!
2930 FOR TA=TBAS TO TSON STEP TADIM
2940 T=TA
2950 GOSUB 3830 : GOSUB 2990
2960 NEXT TA
2970 RETURN
2980 REM =====
2990 REM YAZILIM 1 : KIZGIN BUHAR OZELIKLERI
3000 IF ILKS=2 THEN 3160
3010 REM *** ILKS=1 > HESAPLAMA ***
3020 CLS
3030 LOCATE 2,5 : PRINT "GIRILEN DEGERLER:"
3040 LOCATE 3,5 : PRINT "-----"
3050 LOCATE 4,6 : PRINT DC1$;DC1;DC1B$
3060 LOCATE 5,6 : PRINT DC2$;DC2;DC2B$
3070 GOSUB 3240
3080 GOSUB 3100
3090 RETURN
3100 LOCATE SATNO,1 : PRINT USING TY$;T;
3110 LOCATE SATNO,11 : PRINT USING PY$;P/1000000!
3120 LOCATE SATNO,22 : PRINT USING VY$;V;
3130 LOCATE SATNO,35 : PRINT USING HY$;H/1000;
3140 LOCATE SATNO,47 : PRINT USING SY$;S/1000
3150 RETURN
3160 REM *** ILKS=2 > TABLO ICIN YAZILIM , TABL=2 ***
3170 ILKSAT=ILKSAT+1
3180 IF ILKSAT<>1 THEN 3200
3190 GOSUB 3240
3200 IF SATNO>22 THEN CLS : GOSUB 3240
3210 GOSUB 3100
3220 SATNO=SATNO+1
3230 RETURN
3240 REM =====BASLIK=====

```

```

2110 IF IBB<1 OR IBB>4 THEN 2100
2120 ON IBB GOSUB 2220,2240,2260,2280
2130 PRINT
2140 PRINT "x=";XKD
2150 PRINT "v=";VI"[m3/kg]"
2160 PRINT "h=";HI/1000"[kJ/kg]"
2170 PRINT "s=";SI/1000"[kJ/kg.K]"
2180 LOCATE 23,5 : PRINT "DEVAM ETMEK ICIN BIR TUSA BASINIZ"
2190 A$=INKEY$ : IF A$="" THEN 2190
2200 GOTO 1920
2210 REM -----
2220 INPUT "x=";XKD
2230 VI=VS+XKD*(VB-VS) : HI=HS+XKD*(HB-HS) : SI=SS+XKD*(SB-SS) : RETURN
2240 INPUT "v=";VI
2250 XKD=(VI-VS)/(VB-VS) : HI=HS+XKD*(HB-HS) : SI=SS+XKD*(SB-SS) : RETURN
2260 INPUT "h=";HI
2270 XKD=(HI-HS)/(HB-HS) : VI=VS+XKD*(VB-VS) : SI=SS+XKD*(SB-SS) : RETURN
2280 INPUT "s=";SI
2290 XKD=(SI-SS)/(SB-SS) : VI=VS+XKD*(VB-VS) : HI=HS+XKD*(HB-HS) : RETURN
2300 REM =====
2310 REM Td > Pd , vs , vb , hb , hs , ss , sb
2320 GOSUB 11480
2330 LOCATE 2,1 : PRINT "TABLO ICIN DOYMA SICAKLIGI GIRIS DEBERLERI [K] :"
2340 LOCATE 3,1 : PRINT "-----"
2350 LOCATE 4,1 : PRINT "TBAS =      [K]      ,   TSON =      [K]"
2360 LOCATE 4,8 : INPUT "",TBAS
2370 LOCATE 4,32 : INPUT "",TSON
2380 INPUT "T ADIM = ",TADIM
2390 CLS
2400 ILKSAT=0
2410 FOR TABLOT=TBAS TO TSON STEP TADIM
2420 TD=TABLOT
2430 GOSUB 2460
2440 NEXT TABLOT
2450 RETURN
2460 REM -----
2470 GOSUB 5590
2480 PD=P/1000000!
2490 REM GOSUB YAZILIM
2500 GOSUB 3330
2510 RETURN
2520 REM =====
2530 REM Pd > Td , vs , vb , hb , hs , ss , sb
2540 GOSUB 11480
2550 LOCATE 2,1 : PRINT "TABLO ICIN DOYMA BASINCI GIRIS DEGERLERI [MPa] :"
2560 LOCATE 3,1 : PRINT "-----"
2570 LOCATE 4,1 : PRINT "PBAS =      [MPa]      ,   PSON =      [MPa]"
2580 LOCATE 4,8 : INPUT "",PBAS
2590 LOCATE 4,34 : INPUT "",PSON
2600 INPUT "P ADIM = ",PADIM
2610 CLS
2620 ILKSAT=0 : SATNO=35
2630 FOR TABLOP=PBAS TO PSON STEP PADIM
2640 PD=TABLOP*1000000!
2650 GOSUB 2690
2660 NEXT TABLOP
2670 RETURN
2680 REM -----

```

```

3250 SATND=10 : BASL=6
3260 PY$="#.####" : TY$="###.##" : VY$="#.#####" : HY$="###.##" : SY$="#.####"
3270 LOCATE BASL+1,1 : PRINT " T P v h s"
3280 LOCATE BASL+2,1 : PRINT " [K] [MPa] [m3/kg] [kJ/kg] [kJ/kg
.KJ]"
3290 LOCATE BASL+3,1:PRINT "-----"
--"
3300 RETURN
3310 REM
3320 REM =====
3330 REM YAZILIM 2 : DOYMA OZELIKLERI
3340 IF ILKS=2 THEN 3540
3350 REM *** ILKS=1 > HESAPLAMA ***
3360 CLS
3370 LOCATE 2,5 : PRINT "GIRILEN DOYMA DEGERI:"
3380 LOCATE 3,5 : PRINT "-----"
3390 LOCATE 4,5 : PRINT DOYD$;DOYD;DOYDB$
3400 GOSUB 3620
3410 GOSUB 3430
3420 RETURN
3430 REM
3440 SATND=SATND+1
3450 LOCATE SATND,1 : PRINT USING TDY$;TD;
3460 LOCATE SATND,10:PRINT USING PDY$;PD;
3470 LOCATE SATND,20 :PRINT USING VSY$;VS;
3480 LOCATE SATND,31:PRINT USING VSY$;VB;
3490 LOCATE SATND,42:PRINT USING HSY$;HS/1000;
3500 LOCATE SATND,51:PRINT USING HSY$;HB/1000;
3510 LOCATE SATND,61:PRINT USING SSY$;SS/1000;
3520 LOCATE SATND,70:PRINT USING SSY$;SB/1000
3530 RETURN
3540 REM *** ILKS=2 , TABLD , TABL=2 , HSP=2 ***
3550 ILKSAT=ILKSAT+1
3560 IF ILKSAT<>1 THEN 3580
3570 GOSUB 3620
3580 IF SATND>20 THEN CLS : GOSUB 3620
3590 GOSUB 3430
3600 RETURN
3610 REM
3620 REM =====BASLIK=====
3630 PDY$="#.####" : TDY$="###.##" : VSY$="#.#####" : HSY$="###.##" : SSY$="#.#
##"
3640 LOCATE 6,1 :PRINT " T P vs vb hs hb
ss sb"
3650 LOCATE 7,1 : PRINT " [K] [MPa] [m3/kg] [m3/kg] [kJ/kg]
[kJ/kg.K]"
3660 LOCATE 8,1 : PRINT "-----"
-----"
3670 SATND=8
3680 RETURN
3690 REM =====
3700 REM *** ALTPROGRAM KIZGIN BUHAR OZELIKLERI ***
3710 REM ** GIRILECEK DEGER CIFTININ KODLARI **
3720 REM ** 1)T,v 2)T,P 3)P,v 4)T,s 5)v,s **
** 6)T,h 7)v,h 8)P,h 9)P,s 10)h,s **
3730 REM ** GIRILECEK DEGER CIFTININ KODU :";DC **
3740 REM ** 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 **
3750 ON DC GOSUB 3760,3820,3990,4140,4290,4440,4590,4740,4970,5200

```

```

3760 LOCATE 17,20 : INPUT "T,v : ",T,V
3770 DC1$="T=" : DC2$="v=" : DC1B$="[K]" : DC2B$="[m3/kg]"
3780 DC1=T : DC2=V
3790 GOSUB 5850
3800 RETURN
3810 REM #####
3820 LOCATE 17,20 : INPUT "T,P : ",T,P
3830 DC1$="T=" : DC2$="P=" : DC1B$="[K]" : DC2B$="[Pa]"
3840 DC1=T : DC2=P
3850 IF P>3500000! THEN V=.003 : GOTO 3870
3860 V=R*T/P
3870 HATATP=.000001*P
3880 GOSUB 6540
3890 FARKTP=PH-P
3900 IF ABS(FARKTP)<HATATP THEN 3950
3910 FBDF=FARKTP/DPDV
3920 IF ABS(FBDF)<.00001 THEN 3950
3930 V=V-FBDF
3940 GOTO 3880
3950 GOSUB 5850
3960 T=DC1 : P=DC2
3970 RETURN
3980 REM #####
3990 LOCATE 17,20 : INPUT "P,v : ",P,V
4000 DC1$="P=" : DC2$="v=" : DC1B$="[Pa]" : DC2B$="[m3/kg]"
4010 DC1=P : DC2=V
4020 T=P*V/R
4030 HATAPV=.000001*P
4040 GOSUB 6540
4050 FARKPV=PH-P
4060 IF ABS(FARKPV)<HATAPV THEN 4100
4070 FBDF=FARKPV/DPDT
4080 T=T-FBDF
4090 GOTO 4040
4100 GOSUB 5850
4110 P=DC1 : V=DC2
4120 RETURN
4130 REM #####
4140 LOCATE 17,20 : INPUT "T,s : ",T,S
4150 DC1$="T=" : DC2$="s=" : DC1B$="[K]" : DC2B$="[J/kg.K]"
4160 DC1=T : DC2=S
4170 V=.002
4180 HATATS=.001*S
4190 GOSUB 6800
4200 FARKTS=SH-S
4210 IF ABS(FARKTS)<HATATS THEN 4250
4220 FBDF=FARKTS/DSDV
4230 V=V-FBDF
4240 GOTO 4190
4250 GOSUB 5850
4260 T=DC1 : S=DC2
4270 RETURN
4280 REM #####
4290 LOCATE 17,20 : INPUT "v,s : ",V,S
4300 DC1$="v=" : DC2$="s=" : DC1B$="[m3/kg]" : DC2B$="[J/kg.K]"
4310 DC1=V : DC2=S
4320 T=TK-50
4330 HATAVS=.001*S

```

```

4340 GOSUB 6800
4350 FARKVS=SH-S
4360 IF ABS(FARKVS)<HATAVS THEN 4400
4370 FBDF=FARKVS/DSDT
4380 T=T-FBDF
4390 GOTO 4340
4400 GOSUB 5850
4410 V=DC1 : S=DC2
4420 RETURN
4430 REM #####
4440 LOCATE 17,20 : INPUT "T,h : ",T,H
4450 DC1$="T=" : DC2$="h=" : DC1B$="[K]" : DC2B$="[J/kg]"
4460 DC1=T : DC2=H
4470 V=.002
4480 HATATH=.000001#H
4490 GOSUB 7540
4500 FARKTH=HH-H
4510 IF ABS(FARKTH)<HATATH THEN 4550
4520 FBDF=FARKTH/DHDV
4530 V=V-FBDF
4540 GOTO 4490
4550 GOSUB 5850
4560 T=DC1 : H=DC2
4570 RETURN
4580 REM #####
4590 LOCATE 17,20 : INPUT "v,h : ",V,H
4600 DC1$="v=" : DC2$="h=" : DC1B$="[m3/kg]" : DC2B$="[J/kg]"
4610 DC1=V : DC2=H
4620 T=TK-50
4630 HATAVH=.000001#H
4640 GOSUB 7540
4650 FARKVH=HH-H
4660 IF ABS(FARKVH)<HATAVH THEN 4700
4670 FBDF=FARKVH/DHDT
4680 T=T-FBDF
4690 GOTO 4640
4700 GOSUB 5850
4710 V=DC1 : H=DC2
4720 RETURN
4730 REM #####
4740 LOCATE 17,20 : INPUT "P,h : ",P,H
4750 DC1$="P=" : DC2$="h=" : DC1B$="[Pa]" : DC2B$="[J/kg]"
4760 DC1=P : DC2=H
4770 T=TK : V=.01
4780 TE=T : VE=V
4790 GOSUB 7540
4800 NR(1,1)=DPDT : NR(1,2)=DPDV
4810 NR(2,1)=DHDT : NR(2,2)=DHDV
4820 F1=PH-P
4830 F2=HH-H
4840 DELT=(NR(2,2)*F1-NR(1,2)*F2)/(NR(1,1)*NR(2,2)-NR(1,2)*NR(2,1))
4850 DELV=(F1-NR(1,1)*DELT)/NR(1,2)
4860 IF ABS(DELT)>.1 THEN 4890
4870 IF ABS(DELV)>.0001 THEN 4890
4880 GOTO 4920
4890 T=TE-DELT
4900 V=VE-DELV
4910 GOTO 4780

```

```

4920 REM
4930 GOSUB 5850
4940 P=DC1 : H=DC2
4950 RETURN
4960 REM #####
4970 LOCATE 17,20 : INPUT "P,s : ",P,S
4980 DC1$="P=" : DC2$="s=" : DC1B$="[Pa]" : DC2B$="[J/kg.K]"
4990 DC1=P : DC2=S
5000 T=TK : V=.01
5010 TE=T : VE=V
5020 GOSUB 6540 : GOSUB 6800
5030 NR(1,1)=DPDT : NR(1,2)=DPDV
5040 NR(2,1)=DSDT : NR(2,2)=DSDV
5050 F1=PH-P
5060 F2=SH-S
5070 DELT=(NR(2,2)*F1-NR(1,2)*F2)/(NR(1,1)*NR(2,2)-NR(1,2)*NR(2,1))
5080 DELV=(F1-NR(1,1)*DELT)/NR(1,2)
5090 IF ABS(DELT)>.1 THEN 5120
5100 IF ABS(DELV)>.0001 THEN 5120
5110 GOTO 5150
5120 T=TE-DELT
5130 V=VE-DELV
5140 GOTO 5010
5150 REM
5160 GOSUB 5850
5170 P=DC1 : S=DC2
5180 RETURN
5190 REM #####
5200 LOCATE 17,20 : INPUT "h,s : ",H,S
5210 DC1$="h=" : DC2$="s=" : DC1B$="[J/kg]" : DC2B$="[J/kg.K]"
5220 DC1=H : DC2=S
5230 T=TK : V=.01
5240 TE=T : VE=V
5250 GOSUB 7540 : GOSUB 6800
5260 NR(1,1)=DHDV : NR(1,2)=DHDV
5270 NR(2,1)=DSDT : NR(2,2)=DSDV
5280 F1=HH-H
5290 F2=SH-S
5300 DELT=(NR(2,2)*F1-NR(1,2)*F2)/(NR(1,1)*NR(2,2)-NR(1,2)*NR(2,1))
5310 DELV=(F1-NR(1,1)*DELT)/NR(1,2)
5320 IF ABS(DELT)>.1 THEN 5350
5330 IF ABS(DELV)>.0001 THEN 5350
5340 GOTO 5380
5350 T=TE-DELT
5360 V=VE-DELV
5370 GOTO 5240
5380 REM
5390 GOSUB 5850
5400 H=DC1 : S=DC2
5410 RETURN
5420 REM =====
5430 REM ***  ALTPROGRAM      DOYMA OZELIKLERI      ***
5440 REM =====
5450 LOCATE 17,35 : PRINT "[K]"
5460 LOCATE 17,20 : INPUT "TD=",TD
5470 DOYD$="TD=" : DOYD=TD : DOYDB$="[K]"
5480 GOSUB 5580
5490 GOTO 5550

```

```

5500 REM -----
5510 LOCATE 17,35 : PRINT "[Pa]"
5520 LOCATE 17,20 : INPUT "PD=",PD
5530 DOYD$="PD=" : DOYD=PD : DOYDB$="[Pa]"
5540 GOSUB 5640
5550 PD=P/1000000!
5560 RETURN
5570 REM #####
5580 REM INPUT TD
5590 T=TD
5600 GOSUB 7630
5610 P=PDH
5620 GOTO 5770
5630 REM #####
5640 REM INPUT PD
5650 T=TK-50
5660 PG=PD
5670 HATAP=.000001*PD
5680 GOSUB 7630
5690 FARKP=PDH-PD
5700 IF ABS(FARKP)<HATAP THEN 5750
5710 FBDF=FARKP/DPD
5720 IF ABS(FBDF)<.001 THEN 5750
5730 T=T-FBDF
5740 GOTO 5680
5750 P=PG
5760 TD=T
5770 REM DOYMUS BUHAR OZELIKLERININ HESABI ICIN KIZGIN BUHAR ALT PROGRAMINA GIT
5780 GOSUB 3830
5790 UB=U : HB=H : VB=V : SB=S
5800 GOSUB 7850
5810 HS=HB-T*(VB-VS)*DPD
5820 SS=SB-(HB-HS)/T
5830 RETURN
5840 REM =====
5850 RF: ***KIZGIN BUHARIN OZELILERI ALTPROGRAMI ***
5860 P:~M ** VERILEN T,V DEGERLERINE KARSILIK GELEN **
5870 REM ** P,u,h,s DEGERLERINI HESAPLAR **
5880 TOPYW=0
5890 TOPWZ=0
5900 TOPXZ=0
5910 EKT=EXP(-K*T/TK)
5920 VEB=V-B
5930 FOR I=2 TO 6
5940 Y(I)=1/VEB^I
5950 W(I)=A(I)+B(I)*T+C(I)*EKT
5960 Z(I)=1/((1-I)*VEB^(I-1))
5970 X(I)=B(I)-(C(I)*K/TK)*EKT
5980 IF I>5 THEN 6020
5990 TOPYW=TOPYW+Y(I)*W(I)
6000 TOPWZ=TOPWZ+W(I)*Z(I)
6010 TOPXZ=TOPXZ+X(I)*Z(I)
6020 NEXT I
6030 TOPCV06=0
6040 TOPUG=0
6050 TOPSG=0
6060 FOR I=1 TO 4
6070 TOPCV06=TOPCV06+G(I)*T^(I-1)

```

```

6080 TOPUG=TOPUG+(G(I)*(T^I-T0^I))/I
6090 IF I<2 THEN 6110
6100 TOPSG=TOPSG+G(I)*(T^(I-1)-T0^(I-1))/(I-1)
6110 NEXT I
6120 REM AKISKANA BAGLI OLARAK DEGISEN ALFA VE C KATSAYILARININ
6130 REM DEGERLERINE BAGLI OLAN BOLUMLER
6140 GOSUB 6170
6150 GOTO 6460
6160 REM =====
6170 ON AG GOTO 6180,6230,6350
6180 REM ALFA=0 , C=0
6190 YV=0
6200 ZV=0
6210 DYV=0
6220 GOTO 6450
6230 REM ALFA.NE.0 , C=0
6240 AV=ALFA*V
6250 IF AV>27 THEN 6310
6260 EAV=EXP(AV)
6270 YV=1/EAV
6280 ZV=-1/(ALFA*EAV)
6290 DYV=-ALFA/EAV
6300 GOTO 6450
6310 YV=0
6320 ZV=0
6330 DYV=0
6340 GOTO 6450
6350 REM ALFA.NE.0 , C.NE.0
6360 AV=ALFA*V
6370 IF AV>27 THEN 6310
6380 EAV=EXP(AV)
6390 CEAV=C*EAV
6400 IF CEAV>1E+30 THEN 6310
6410 YV=1/(EAV*(1+CEAV))
6420 ZV=-1/ALFA*EAV-(C/ALFA)*LOG(1-1/(1+CEAV))
6430 DYV=-ALFA*(1+2*CEAV)/(EAV*(1+CEAV)^2)
6440 GOTO 6450
6450 RETURN
6460 WT=(W(6)-T*X(6))*ZV
6470 P=R*T/VEB+TOPYW+W(6)*YV
6480 CVO=TOPCV0G+G(5)/T^2
6490 U=TOPUG+G(5)*(1/T0-1/T)-TOPWZ+T*TOPXZ-WT+U0
6500 H=U+P*V
6510 S=G(1)*LOG(T/T0)+TOPSG+(G(5)/2)*(1/T0^2-1/T^2)+R*LOG(VEB)+TOPXZ+X(6)*ZV+S0
6520 RETURN
6530 REM =====
6540 REM *** ALTPROGRAM BASINC VE KISMI TUREVLERI ***
6550 REM *** P=P(T,V) , DP/DV , DP/DT ***
6560 VEB=V-B
6570 EKT=EXP(-K*T/TK)
6580 TOPYW=0
6590 TOPDYW=0
6600 TOPYX=0
6610 FOR I=2 TO 6
6620 Y(I)=1/VEB^I
6630 DY(I)=-I/VEB^(I+1)
6640 W(I)=A(I)+B(I)*T+C(I)*EKT
6650 X(I)=B(I)-(C(I)*K/TK)*EKT

```

```

6660 IF I>5 THEN 6700
6670 TOPYW=TOPYW+Y(I)*W(I)
6680 TOPDYW=TOPDYW+DY(I)*W(I)
6690 TOPYX=TOPYX+Y(I)*X(I)
6700 NEXT I
6710 REM ** AKISKANA BAGLI OLARAK DEGISEN ALFA VE C KATSAYILARININ
6720 REM ** DEGERLERINE BAGLI OLAN BOLUMLER
6730 GOSUB 6170
6740 REM DENKLEMLER
6750 PH=R*T/VEB+TOPYW+W(6)*YV
6760 DPDV=-R*T/VEB^2+TOPDYW+W(6)*DYV
6770 DPDT=R/VEB+TOPYX+X(6)*YV
6780 RETURN
6790 REM =====
6800 REM *** s=s(T,v) FONKSIYONU VE KISMI TUREVLERI
6810 REM ** s=s(T,v) Ds/DT Ds/Dv
6820 TOPXZ=0
6830 TOPDXZ=0
6840 TOPXDZ=0
6850 EKT=EXP(-K*T/TK)
6860 VEB=V-B
6870 FOR I=2 TO 6
6880 Z(I)=1/((1-I)*VEB^(I-1))
6890 X(I)=B(I)-(C(I)*K/TK)*EKT
6900 DX(I)=C(I)*(K/TK)^2*EKT
6910 DZ(I)=1/VEB^I
6920 IF I>5 THEN 6960
6930 TOPXZ=TOPXZ+X(I)*Z(I)
6940 TOPDXZ=TOPDXZ+DX(I)*Z(I)
6950 TOPXDZ=TOPXDZ+X(I)*DZ(I)
6960 NEXT I
6970 TOPCVT=0
6980 TOPSG=0
6990 FOR I=1 TO 4
7000 TOPCVT=TOPCVT+G(I)*T^(I-2)
7010 IF I<2 THEN 7030
7020 TOPSG=TOPSG+G(I)*(T^(I-1)-T0^(I-1))/(I-1)
7030 NEXT I
7040 REM AKISKANA BAGLI OLARAK DEGISEN ALFA VE C KATSAYILARININ
7050 REM DEGERLERINE BAGLI OLAN BOLUMLER
7060 GOSUB 6170
7070 DZV=YV
7080 SH=B(1)*LOG(T/T0)+TOPSG+(G(5)/2)*(1/T0^2-1/T^2)+R*LOG(VEB)+TOPXZ+X(6)*ZV+S0
7090 DSDT=TOPCVT+TOPDXZ+DX(6)*ZV
7100 DSDV=R/VEB+TOPXDZ+X(6)*DZV
7110 RETURN
7120 REM =====
7130 REM *** u=u(T,v) FONKSIYONU VE KISMI TUREVLERI
7140 REM ** u=u(T,v) Du/DT Du/Dv
7150 TOPWZ=0
7160 TOPXZ=0
7170 TOPDWZ=0
7180 TOPDXZ=0
7190 TOPWDZ=0
7200 TOPXDZ=0
7210 EKT=EXP(-K*T/TK)
7220 VEB=V-B
7230 FOR I=2 TO 6

```

```

7240 W(I)=A(I)+B(I)*T+C(I)*EKT
7250 Z(I)=1/((1-I)*VEB^(I-1))
7260 X(I)=B(I)-(C(I)*K/TK)*EKT
7270 DX(I)=C(I)*(K/TK)^2*EKT
7280 DZ(I)=1/VEB^I
7290 DW(I)=X(I)
7300 IF I>5 THEN 7370
7310 TOPWZ=TOPWZ+W(I)*Z(I)
7320 TOPXZ=TOPXZ+X(I)*Z(I)
7330 TOPDWZ=TOPDWZ+DW(I)*Z(I)
7340 TOPDXZ=TOPDXZ+DX(I)*Z(I)
7350 TOPWDZ=TOPWDZ+W(I)*DZ(I)
7360 TOPXDZ=TOPXDZ+X(I)*DZ(I)
7370 NEXT I
7380 TOPUG=0
7390 TOPUT=0
7400 FOR I=1 TO 4
7410 TOPUG=TOPUG+(G(I)*(T^I-T0^I))/I
7420 TOPUT=TOPUT+G(I)*T^(I-1)
7430 NEXT I
7440 REM AKISKANA BAGLI OLARAK DEGISEN ALFA VE C KATSAYILARININ
7450 REM DEGERLERINE BAGLI OLAN BOLUMLER
7460 GOSUB 6160
7470 DZV=YV
7480 UH=TOPUG+G(5)*(1/T0-1/T)-TOPWZ+T*TOPXZ-(W(6)-T*X(6))*ZV+U0
7490 'DUDT=TOPUT+G(5)/T^2-TOPDWZ+T*TOPDXZ-(DW(6)-T*DX(6))*ZV
7500 DUDT=TOPUT+G(5)/T^2-TOPDWZ+TOPXZ+T*TOPDXZ-(DW(6)-X(6)-T*DX(6))*ZV
7510 DUDV=-TOPWDZ+T*TOPXDZ-(W(6)-T*X(6))*DZV
7520 RETURN
7530 REM =====
7540 REM *** h=u+Pv = u(T,v)+P(T,v)*v FONKSIYONU VE KISMI TUREVLERI
7550 REM ** h=h(T,v) Dh/DT Dh/Dv
7560 GOSUB 6540
7570 GOSUB 7130
7580 HH=UH+PH*V
7590 DHDT=DUDT+DPDT*V
7600 DHdV=DUDV+DPdV*V+PH
7610 RETURN
7620 REM =====
7630 REM *** DOYMA BASINCI VE TUREVI ***
7640 REM ** Pd=Pd(T) , (DP/DT)d **
7650 IF AK=2 THEN 7740
7660 IF AK=6 THEN 7790
7670 REM === DIGERLERI ICIN
7680 IF T>TK THEN T=TK
7690 GAT=GAMA-T
7700 LNPD=F(1)+F(2)/T+F(3)*LOG(T)+F(4)*T+F(5)*GAT*LOG(GAT)/T
7710 PDH=EXP(LNPD)
7720 DPD=PDH*(-F(2)/T^2+F(3)/T+F(4)-F(5)*((GAMA*LOG(GAT)/T^2)+1/T))
7730 GOTO 7830
7740 REM === F12 ICIN
7750 LNPD=F(1)+F(2)/T+F(3)*LOG(T)+F(4)*T
7760 PDH=EXP(LNPD)
7770 DPD=PDH*(-F(2)/T^2+F(3)/T+F(4))
7780 GOTO 7830
7790 REM === F23 ICIN
7800 LNPD=F(1)+F(2)/T+F(3)*LOG(T)+F(4)*T+F(5)*T^2+F(6)*T^3
7810 PDH=EXP(LNPD)

```

```

7820 DPD=PDH*(-F(2)/T^2+F(3)/T+F(4)+2*F(5)*T+3*F(6)*T^2)
7830 RETURN
7840 REM =====
7850 REM *** OZGUL HACIM ***
7860 REM ** qs=qs(T) , vs=1/qs **
7870 X=1-T/TK
7880 TOPQSD=0
7890 FOR I=1 TO 5
7900 TOPQSD=TOPQSD+D(I)*X^((I-1)/3)
7910 NEXT I
7920 QS=TOPQSD+D(6)*X^.5+D(7)*X^2
7930 VS=1/QS
7940 RETURN
7950 REM =====
7960 REM *** KATSAYILARIN OKUTULMASI ***
7970 REM =====
7980 REM F11, F12, F13, F14, F22, F23, F114, F318, F500, F502
7990 ON AK GOTO 8000,8050,8100,8150,8200,8250,8300,8350,8400,8450
8000 FREON$="F-11"
8010 OPEN "F-11.KAT" FOR INPUT AS#1 : GOSUB 8500
8020 DPHDO$="F11-PH.DOY" : DPHTS$="F11-PH.TST"
8030 DTSDO$="F11-TS.DOY" : DTSPS$="F11-TS.PST"
8040 RETURN
8050 FREON$="F-12"
8060 OPEN "F-12.KAT" FOR INPUT AS#1 : GOSUB 8500
8070 DPHDO$="F12-PH.DOY" : DPHTS$="F12-PH.TST"
8080 DTSDO$="F12-TS.DOY" : DTSPS$="F12-TS.PST"
8090 RETURN
8100 FREON$="F-13"
8110 OPEN "F-13.KAT" FOR INPUT AS#1 : GOSUB 8500
8120 DPHDO$="F13-PH.DOY" : DPHTS$="F13-PH.TST"
8130 DTSDO$="F13-TS.DOY" : DTSPS$="F13-TS.PST"
8140 RETURN
8150 FREON$="F-14"
8160 OPEN "F-14.KAT" FOR INPUT AS#1 : GOSUB 8500
8170 DPHDO$="F14-PH.DOY" : DPHTS$="F14-PH.TST"
8180 DTSDO$="F14-TS.DOY" : DTSPS$="F14-TS.PST"
8190 RETURN
8200 FREON$="F-22"
8210 OPEN "F-22.KAT" FOR INPUT AS#1 : GOSUB 8500
8220 DPHDO$="F22-PH.DOY" : DPHTS$="F22-PH.TST"
8230 DTSDO$="F22-TS.DOY" : DTSPS$="F22-TS.PST"
8240 RETURN
8250 FREON$="F-23"
8260 OPEN "F-23.KAT" FOR INPUT AS#1 : GOSUB 8500
8270 DPHDO$="F23-PH.DOY" : DPHTS$="F23-PH.TST"
8280 DTSDO$="F23-TS.DOY" : DTSPS$="F23-TS.PST"
8290 RETURN
8300 FREON$="F-114"
8310 OPEN "F-114.KAT" FOR INPUT AS#1 : GOSUB 8500
8320 DPHDO$="F114-PH.DOY" : DPHTS$="F114-PH.TST"
8330 DTSDO$="F114-TS.DOY" : DTSPS$="F114-TS.PST"
8340 RETURN
8350 FREON$="F-318"
8360 OPEN "FC-318.KAT" FOR INPUT AS#1 : GOSUB 8500
8370 DPHDO$="F318-PH.DOY" : DPHTS$="F318-PH.TST"
8380 DTSDO$="F318-TS.DOY" : DTSPS$="F318-TS.PST"
8390 RETURN

```

```

8400 FREON$="F-500"
8410 OPEN "F-500.KAT" FOR INPUT AS#1 : GOSUB 8500
8420 DPHDO$="F500-PH.DDY" : DPHTS$="F500-PH.TST"
8430 DTSDO$="F500-TS.DDY" : DTSPS$="F500-TS.PST"
8440 RETURN
8450 FREON$="F-502"
8460 OPEN "F-502.KAT" FOR INPUT AS#1 : GOSUB 8500
8470 DPHDO$="F502-PH.DDY" : DPHTS$="F502-PH.TST"
8480 DTSDO$="F502-TS.DDY" : DTSPS$="F502-TS.PST"
8490 RETURN
8500 REM =====KATSAYILAR
8510 INPUT#1,M,TK,PK,VK,HK,SK,R,B,K,ALFA,C
8520 FOR I=2 TO 6 : INPUT#1,A(I) : NEXT I
8530 FOR I=2 TO 6 : INPUT#1,B(I) : NEXT I
8540 FOR I=2 TO 6 : INPUT#1,C(I) : NEXT I
8550 FOR I=1 TO 5 : INPUT#1,G(I) : NEXT I
8560 INPUT#1,T0,U0,S0
8570 FOR I=1 TO 6 : INPUT#1,F(I) : NEXT I
8580 INPUT#1,GAMA
8590 FOR I=1 TO 7 : INPUT#1,D(I) : NEXT I
8600 CLOSE#1
8610 RETURN
8620 REM =====
8630 REM ***      LnP-h      DIYAGRAMI      ***
8640 REM =====
8650 CLS
8660 GOSUB 11440
8670 LINE (0,0)-(600,250),,B
8680 LOCATE 2,4 : PRINT "LnP"
8690 LOCATE 3,3 : PRINT "[MPa]"
8700 LOCATE 20,67 : PRINT "h [kJ/kg]"
8710 J=-50
8720 FOR I=10 TO 70 STEP 5.3
8730 J=J+50
8740 LOCATE 19,I : PRINT J
8750 NEXT I
8760 LOCATE 2,9 : PRINT "10"
8770 LOCATE 3,10 : PRINT "8"
8780 LOCATE 4,10 : PRINT "6"
8790 LOCATE 5,10 : PRINT "4"
8800 LOCATE 7,10 : PRINT "2"
8810 LOCATE 9,10 : PRINT "1"
8820 LOCATE 10,9 : PRINT ".8"
8830 LOCATE 12,9 : PRINT ".4"
8840 LOCATE 14,9 : PRINT ".2"
8850 LOCATE 15,9 : PRINT ".1"
8860 LOCATE 17,8 : PRINT ".06"
8870 LOCATE 18,8 : PRINT ".04"
8880 REM -----
8890 FOR CIZ=0 TO 600 STEP 50
8900 LINE (CIZ,0)-(CIZ,4)
8910 NEXT CIZ
8920 REM -----
8930 FOR CIZ=.04 TO .1 STEP .02 : GOSUB 8970 : NEXT CIZ
8940 FOR CIZ=.2 TO 1 STEP .2 : GOSUB 8970 : NEXT CIZ
8950 FOR CIZ=2 TO 10 STEP 2 : GOSUB 8970 : NEXT CIZ
8960 GOTO 9010
8970 REM -----

```

```

8980 OYE=LOG(CIZ)*40+130
8990 LINE (0,OYE)-(4,OYE)
9000 RETURN
9010 REM -----
9020 OPEN DPHDO$ FOR INPUT AS#1
9030 OPEN DPHTS$ FOR INPUT AS#2
9040 REM -----
9050 IF EOF(1) THEN 9110
9060 INPUT#1,PD,TD,HS,HB
9070 BAS=LOG(PD)*40+130
9080 PSET (HS,BAS)
9090 PSET (HB,BAS)
9100 GOTO 9050
9110 CLOSE#1
9120 PKD=PK/1000000!
9130 PSET(HK,LOG(PKD)*40+130)
9140 LINE (HK,LOG(PKD)*40+130)-(HS,BAS)
9150 LINE (HK,LOG(PKD)*40+130)-(HB,BAS)
9160 REM -----
9170 FOR D=1 TO 8 : INPUT#2,T(D) : NEXT D
9180 BU=0
9190 FOR D=1 TO 8
9200 IF T(D)>TK THEN 9310
9210 INPUT#2,TD,PD,HS,HB
9220 PSE=LOG(PD)*40+130
9230 IF DIY=3 OR CC=5 THEN 9270
9240 SYSA=INT((250-PSE)/14) : SYSU=INT((100+HS)/9.375-4)
9250 IF SYSU<13 THEN 9270
9260 LOCATE SYSA,SYSU : PRINT TD
9270 FOR TCD=HS TO HB STEP 10
9280 PSET(TCD,PSE)
9290 NEXT TCD
9300 GOTO 9350
9310 BU=BU+1 : IF BU<>1 THEN 9340
9320 IF DIY=3 OR CC=5 THEN 9340
9330 LOCATE SYSA,SYSU-2 : PRINT "T=";TD;"K"
9340 INPUT#2,TD
9350 NEXT D
9360 REM ----
9370 IF EOF(2) THEN 9410
9380 INPUT#2,P,H
9390 PSET(H,LOG(P)*40+130)
9400 GOTO 9370
9410 CLOSE#2
9420 RETURN
9430 REM =====
9440 REM ***      T-s      DIYAGRAMI      ***
9450 REM =====
9460 CLS
9470 GOSUB 11440
9480 LINE (0,0)-(600,250),,B
9490 LOCATE 2,4 : PRINT "T"
9500 LOCATE 3,3 : PRINT "[K]"
9510 LOCATE 20,66 : PRINT "s [J/kg.K]"
9520 J=-200
9530 FOR I=10 TO 75 STEP 8.25
9540 J=J+200
9550 LOCATE 19,I : PRINT J

```

```

9560 NEXT I
9570 LOCATE 18,6 : PRINT 150
9580 LOCATE 16,6 : PRINT 200
9590 LOCATE 13,6 : PRINT 250
9600 LOCATE 11,6 : PRINT 300
9610 LOCATE 9,6 : PRINT 350
9620 LOCATE 6,6 : PRINT 400
9630 LOCATE 3,6 : PRINT 450
9640 LOCATE 1,6 : PRINT 500
9650 REM -----
9660 FOR CIZ=0 TO 600 STEP 40
9670 LINE (CIZ,0)-(CIZ,4)
9680 NEXT CIZ
9690 REM -----
9700 FOR CIZ=0 TO 350 STEP 50
9710 LINE (0,CIZ*.7)-(4,CIZ*.7)
9720 NEXT CIZ
9730 REM -----
9740 OPEN DTSD0$ FOR INPUT AS#1
9750 OPEN DTSPS$ FOR INPUT AS#2
9760 REM -----
9770 IF EOF(1) THEN 9850
9780 INPUT#1,TD,PD,SS,SB
9790 SS=SS*.4 : SB=SB*.4
9800 TD=(TD-150)*.7
9810 PSET (SS,TD)
9820 IF SB/.4>1500 THEN 9840
9830 PSET (SB,TD)
9840 GOTO 9770
9850 CLOSE#1
9860 REM -----
9870 PSET(SK*.4,(TK-150)*.7)
9880 REM -----
9890 FOR I=1 TO 6
9900 INPUT#2,PD(I),T(I),SS(I),SB(I)
9910 TD(I)=T(I)
9920 SS(I)=SS(I)*.4 : SB(I)=SB(I)*.4
9930 TD(I)=(TD(I)-150)*.7
9940 IF DIY=3 OR CC=5 THEN 9990
9950 BYSA(I)=INT((250-TD(I))/14) : BYSU(I)=INT((100+SS(I))/9.375-4)
9960 IF BYSA(I)>17 OR BYSU(I)<12.5 THEN 9990
9970 IF I>1 AND ABS(BYSA(I)-BYSA(I-1))<.5 THEN 9990
9980 LOCATE BYSA(I),BYSU(I) : PRINT USING "#.##";PD(I)
9990 REM -----
10000 FOR PCD=SS(I) TO SB(I) STEP 30*.4
10010 IF PCD/.4>1500 THEN 10030
10020 PSET (PCD,TD(I))
10030 NEXT PCD
10040 NEXT I
10050 IF DIY=3 OR CC=5 THEN 10070
10060 LOCATE BYSA(6),BYSU(6)-4 : PRINT "P=";PD(6);"MPa"
10070 FOR I=1 TO 6
10080 DD=T(I)+25 TO 500 STEP 50
10090 GOSUB 10150
10100 NEXT DD
10110 IF DD<500 THEN GOSUB 10150
10120 NEXT I
10130 CLOSE#2

```

```

10140 RETURN
10150 REM -----
10160 INPUT#2,T,S
10170 S=S*.4 : T=(T-150)*.7
10180 IF S>600 THEN 10200
10190 LINE (SB(I),TD(I))-(S,T)
10200 SB(I)=S : TD(I)=T
10210 RETURN
10220 REM =====
10230 REM ***      LnP-H & T-s      ***
10240 REM =====
10250 CLS
10260 IF ILKS=3 THEN 10280
10270 GOSUB 11570
10280 ORX=1500 : ORY=600
10290 WINDOW (0,0)-(ORX,ORY)
10300 LINE (0,0)-(ORX,ORY),,B
10310 REM -----SISTEMIN CIZIMI
10320 GOSUB 10360
10330 REM ----- T-s
10340 ORX=150 : ORY=350
10350 WINDOW (-ORX,-ORY)-(ORX-ORX,ORY-ORY)
10360 LINE (0,0)-(600,250),,B
10370 LOCATE 2,3 : PRINT "T"
10380 LOCATE 3,2 : PRINT "[K]"
10390 LOCATE 12,31 : PRINT "s [J/kg.K]"
10400 LOCATE 2,10 : PRINT FREDN$
10410 GOSUB 9650
10420 IF ILKS=4 AND CC=5 THEN GOSUB 11080
10430 REM ----- LnP-h
10440 OAX=150 : OAY=40
10450 WINDOW (-OAX,-OAY)-(ORX-OAX,ORY-OAY)
10460 LINE (0,0)-(600,250),,B
10470 LOCATE 14,3 : PRINT "LnP"
10480 LOCATE 15,2 : PRINT "[MPa]"
10490 LOCATE 25,32 : PRINT "h [kJ/kg]"
10500 LOCATE 14,10 : PRINT FREDN$
10510 GOSUB 8880
10520 IF ILKS=4 AND CC=5 THEN GOSUB 10800
10530 REM -----
10540 WINDOW (-100,-100)-(650,250)
10550 RETURN
10560 REM =====SISTEM CIZIMI
10570 OCX=850 : OCY=350 : ORX=1500 : ORY=600
10580 WINDOW (-OCX,-OCY)-(ORX-OCX,ORY-OCY)
10590 LINE (0,0)-(600,250),,B
10600 LINE (120,60)-(480,190),,B
10610 LINE (100,105)-(140,150),,B
10620 LINE (460,105)-(500,150),,B
10630 LINE (282,185)-(318,195),,B
10640 LINE (282,185)-(318,195)
10650 LINE (282,195)-(318,185)
10660 CIRCLE(300,60),25
10670 LOCATE 9,57 : PRINT "2"
10680 LOCATE 9,67 : PRINT "1"
10690 LOCATE 2,57 : PRINT "3"      4"
10700 LOCATE 10,60 : PRINT "Komp."
10710 LOCATE 6,55 : PRINT "Yag."      Buh."

```

```

10720 LOCATE 4,60 : PRINT "Vana"
10730 WINDOW (-100,-100)-(650,250)
10740 RETURN
10750 REM =====
10760 REM ***      CEVRIM CIZINI      ***
10770 REM =====
10780 REM ***      LNP-H DIYAGRAMINDA      ***
10790 GOSUB 8630
10800 FOR I=1 TO 4
10810 XG(I)=HC(I)
10820 YG(I)=LOG(PC(I))*40+130
10830 PSET (XG(I),YG(I))
10840 CIRCLE(XG(I),YG(I)),5
10850 NEXT I
10860 LINE (XG(1),YG(1))-(XG(2),YG(2))
10870 LINE (XG(2),YG(2))-(XG(3),YG(3))
10880 LINE (XG(3),YG(3))-(XG(4),YG(4))
10890 LINE (XG(4),YG(4))-(XG(1),YG(1))
10900 REM -----
10910 'IF DIY=3 OR CC=5 THEN 11037
10920 IF DIY=3 OR CC=5 THEN 11040
10930 WY2=250 : WX1=100 : KDY=14 : KDX=9.375
10940 GOTO 10960
10950 WY2=560 : WX1=150 : KDY=24 : KDX=18.75
10960 FOR I=1 TO 4
10970 CNSA(I)=INT((WY2-YG(I))/KDY) : CNSU(I)=INT((WX1+XG(I))/KDX)
10980 NEXT I
10990 REM ----
11000 LOCATE CNSA(1)+2,CNSU(1)+3 : PRINT 1
11010 LOCATE CNSA(2),CNSU(2)+2 : PRINT 2
11020 LOCATE CNSA(3)+2,CNSU(3)+3 : PRINT 3
11030 LOCATE CNSA(4)+2,CNSU(4)+1 : PRINT 4
11040 RETURN
11050 REM =====
11060 REM ***      T-S DIYAGRAMINDA      ***
11070 GOSUB 9440
11080 FOR I=1 TO 4
11090 XSG(I)=SC(I)*1000*.4
11100 YSG(I)=(TC(I)-150)*.7
11110 PSET (XSG(I),YSG(I))
11120 CIRCLE (XSG(I),YSG(I)),5
11130 NEXT I
11140 LINE (XSG(1),YSG(1))-(XSG(2),YSG(2))
11150 LINE (XSG(2),YSG(2))-(SBC(3)*1000*.4,YSG(3))
11160 LINE (SBC(3)*1000*.4,YSG(3))-(XSG(3),YSG(3))
11170 LINE (XSG(3),YSG(3))-(XSG(4),YSG(4))
11180 LINE (XSG(4),YSG(4))-(XSG(1),YSG(1))
11190 'IF DIY=3 OR CC=5 THEN 11204
11200 IF DIY=3 OR CC=5 THEN 11280
11210 WY2=250 : WX1=100 : KDY=14 : KDX=9.375
11220 GOTO 11240
11230 WY2=560 : WX1=150 : KDY=24 : KDX=18.75
11240 FOR I=1 TO 4
11250 CNSA(I)=INT((WY2-YSG(I))/KDY) : CNSU(I)=INT((WX1+XSG(I))/KDX)
11260 NEXT I
11270 GOSUB 10990
11280 RETURN
11290 REM =====

```

```

11300 REM *** CEVRIM NOKTALARININ OZELIKLERI ***
11310 CLS
11320 GOSUB 10560
11330 LOCATE 12,9 : PRINT "CEVRIM NOKTALARININ OZELIKLERI:"
11340 LOCATE 13,9 : PRINT "-----"
11350 SATNO=17 : BASL=13
11360 GOSUB 3260
11370 FOR CY=1 TO 4
11380 P=PC(CY)*1000000! : T=TC(CY) : V=VC(CY) : H=HC(CY)*1000! : S=SC(CY)*1000!
11390 GOSUB 3100
11400 LOCATE SATNO,60 : PRINT CY;". Nokta"
11410 SATNO=SATNO+1
11420 NEXT CY
11430 RETURN
11440 REM ===== AKISKAN ISMININ YAZIMI
11450 LINE (0,236)-(52,250),,BF
11460 LOCATE 1,12 : PRINT FREDN$
11470 RETURN
11480 REM ===== KRITIK DEGERLERIN YAZIMI
11490 KDSN=19
11500 LINE (15,-75)-(435,10),,B
11510 LOCATE KDSN,23 : PRINT FREDN$;" KRITIK DEGERLER"
11520 LOCATE KDSN+1,22 : PRINT "-----"
11530 LOCATE KDSN+2,16 : PRINT "Tk=";TK"[K]          "; "Pk=";PK"[Pa]"
11540 LOCATE KDSN+3,16 : PRINT "vk=";VK"[m3/kg]      "; "hk=";HK"[kJ/kg]"
11550 LOCATE KDSN+4,16 : PRINT "sk=";SK"[kJ/kg.K]    "; "To=";T0"[K]"
11560 RETURN
11570 REM =====
11580 REM CEVRIM NOKTALARI
11590 RCN=11
11600 LOCATE RCN+1,46 : PRINT "CEVRIM NOKTALARININ OZELIKLERI"
11610 LOCATE RCN+2,46 : PRINT "-----"
11620 LOCATE RCN+3,43 : PRINT "      1      2      3      4"
11630 LOCATE RCN+4,45 : PRINT "-----"
11640 LOCATE RCN+5,43 : PRINT "P"
11650 LOCATE RCN+6,43 : PRINT "T"
11660 LOCATE RCN+7,43 : PRINT "v"
11670 LOCATE RCN+8,43 : PRINT "h"
11680 LOCATE RCN+9,43 : PRINT "s"
11690 CYY=38
11700 FOR CY=1 TO 4
11710 CYY=CYY+9
11720 LOCATE RCN+5,CYY: PRINT USING "#.####";PC(CY)
11730 LOCATE RCN+6,CYY: PRINT USING "###.##";TC(CY)
11740 LOCATE RCN+7,CYY: PRINT USING "#.####";VC(CY)
11750 LOCATE RCN+8,CYY: PRINT USING "###.##";HC(CY)
11760 LOCATE RCN+9,CYY: PRINT USING "#.####";SC(CY)
11770 NEXT CY
11780 LOCATE RCN+11,44 : PRINT "P [MPa]      T [K]          v [m3/kg]"
11790 LOCATE RCN+12,44 : PRINT "h [kJ/kg]    s [kJ/kg.K]"
11800 RETURN

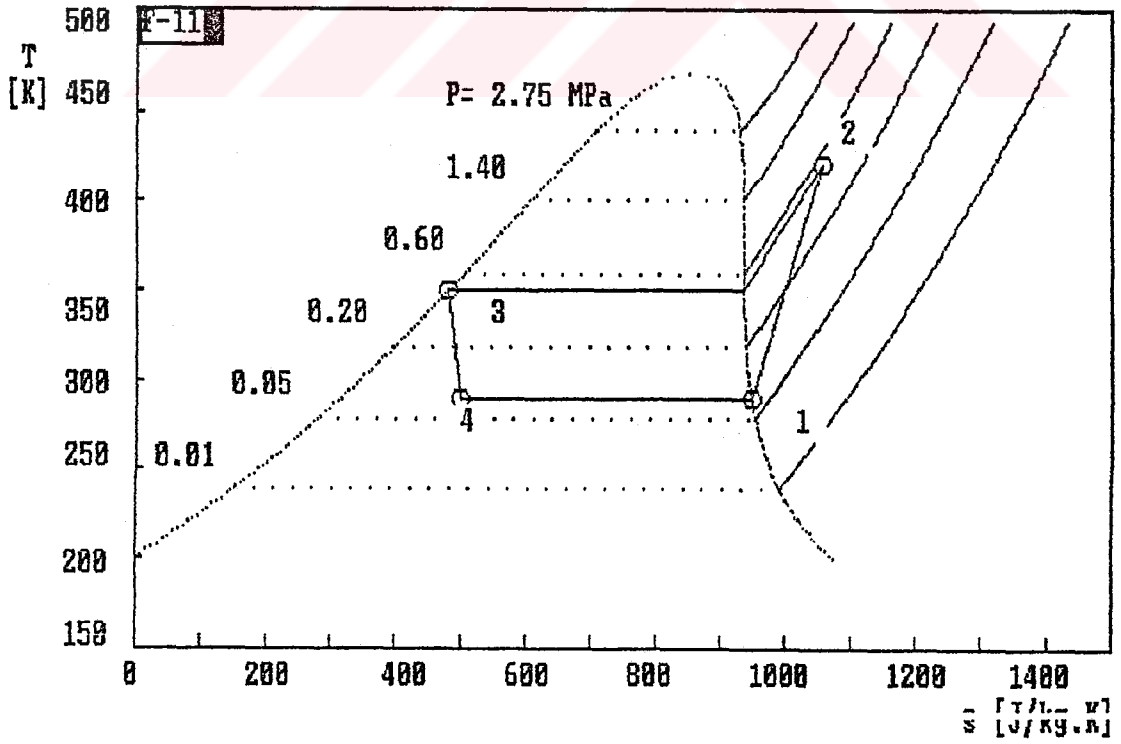
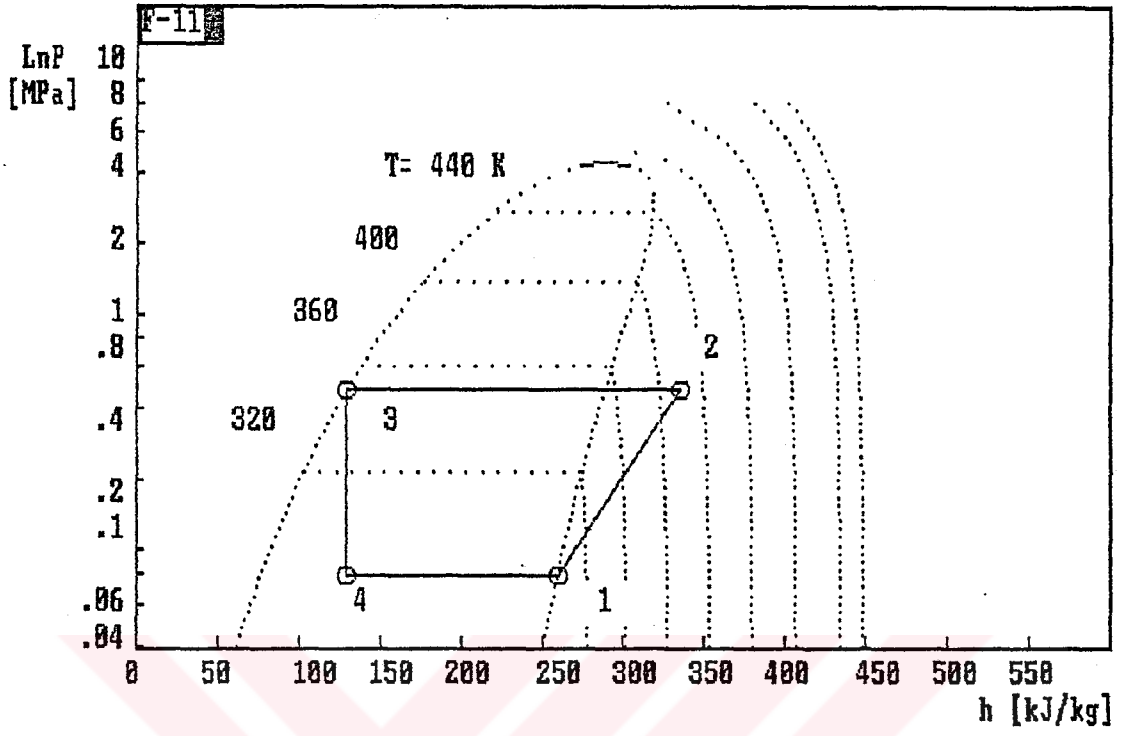
```

EK E : PROGRAMDA KULLANILAN DEĞİŞKENLER

Kullanılan semboller bölümünde verilen ve yöntemde anlatılan bütün semboller programda aynen değişken ismi olarak kullanılmıştır. Bunlara ilaveten kullanılan diğer değişkenler aşağıda listelenmiştir.

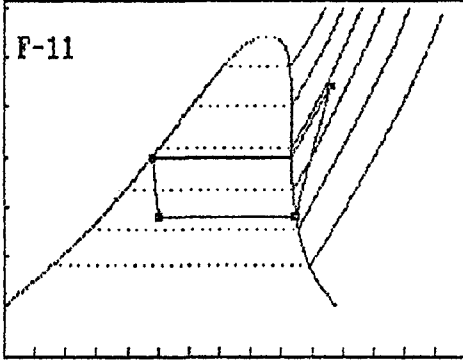
BBS : Buharlaştırıcı basınç veya sıcaklığının seçimi
 YBS : Yoğusturucu basınç veya sıcaklığının seçimi
 BB : Buharlaştırıcı basıncı (Pa)
 BS : Buharlaştırıcı sıcaklığı (K)
 YB : Yoğusturucu basıncı (Pa)
 YS : Yoğusturucu sıcaklığı (K)
 KCS : Kompresör çıkış sıcaklığı (K)
 PC,TC,VC,HC,SC : Çevrim noktaları özelliklerinin dizileri
 DC : Kızgın buhar bölgesi için giriş özellik çifti kodu
 DC\$: Giriş özellik çiftine ait notasyonlar ve birimler
 PH,HH,SH : İterasyon adımlarında hesaplanan özellik değerleri
 DPDT,DPDV,DSDT,DSDV,DUDT,DUDV,DHDT,DDV,DPD : Özellik bağıntılarına ait kısmi türevler
 NR : Newton-Raphson metodu için iterasyon matrisi

EK F : SOGUTUCU AKISKANLAR ICIN ORNEK CEVRIM CIZIMLI DIYAGRAMLAR

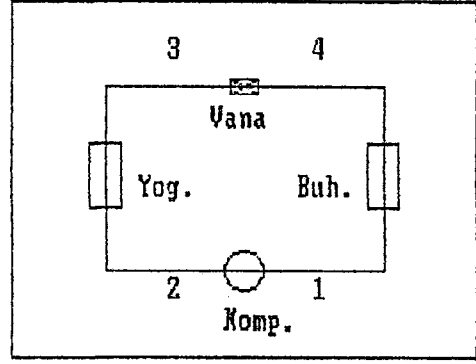


T
[K]

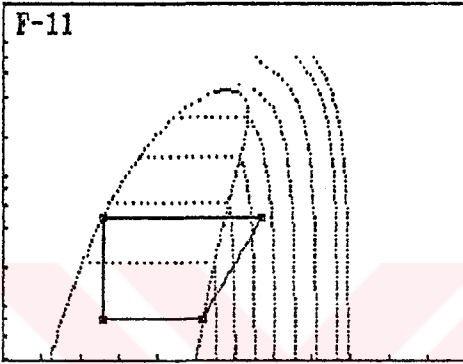
F-11



s [J/kg.K]

LnP
[MPa]

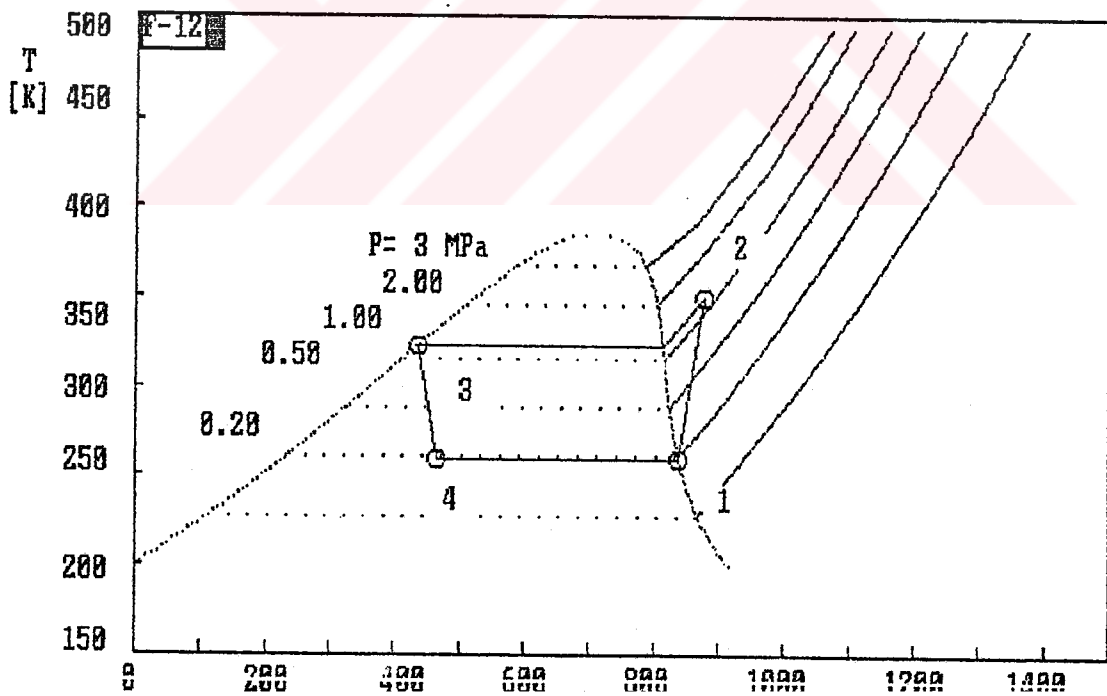
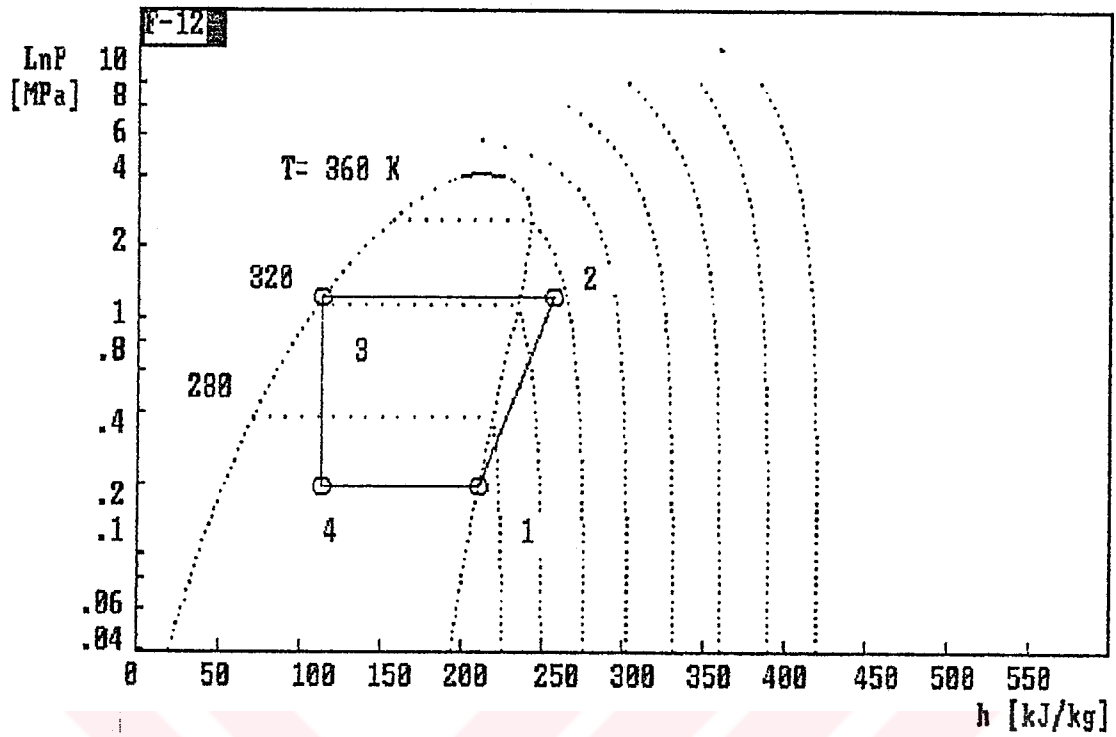
F-11



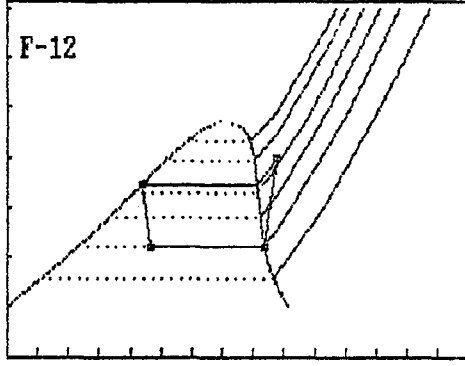
h [kJ/kg]

CEVRİM NOKTALARININ ÖZELLİKLERİ:

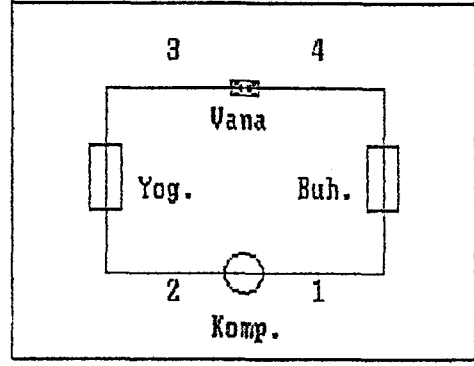
T [K]	P [MPa]	v [m ³ /kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg.K]	
290.00	0.0787	0.215734	259.43	0.9463	1 . Nokta
420.00	0.4810	0.049890	335.40	1.0571	2 . Nokta
350.00	0.4810	0.000744	129.65	0.4011	3 . Nokta
290.00	0.0787	0.063083	129.65	0.4988	4 . Nokta



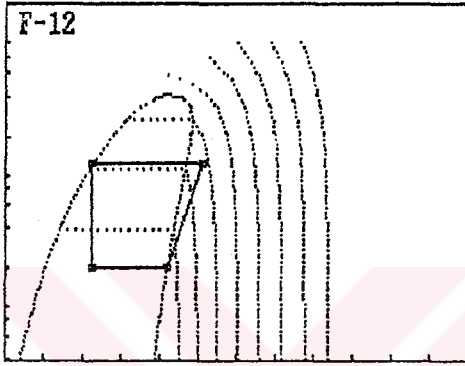
T
[K]



s [J/kg.K]



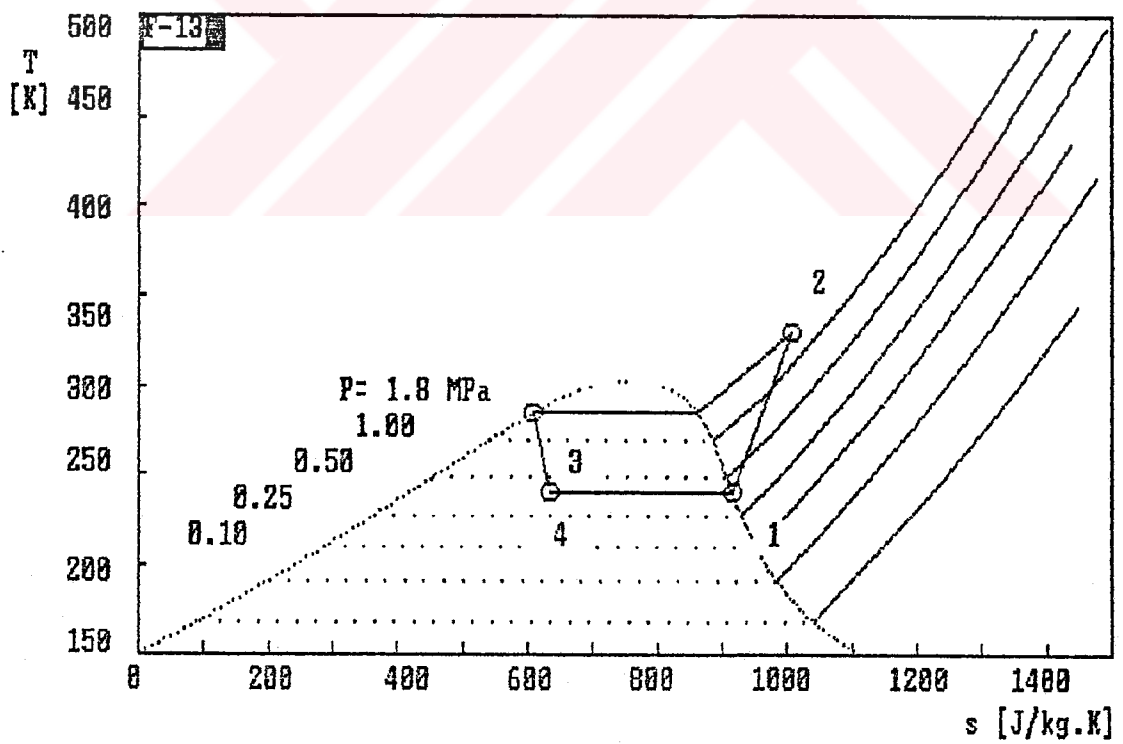
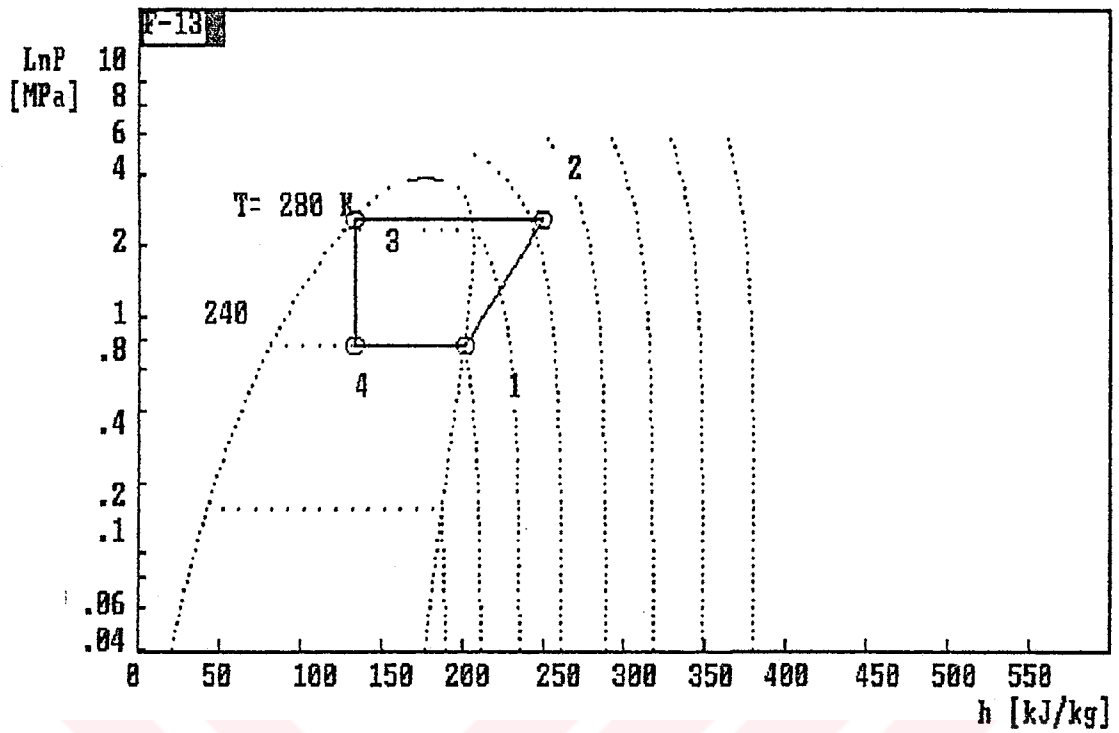
LnP
[MPa]

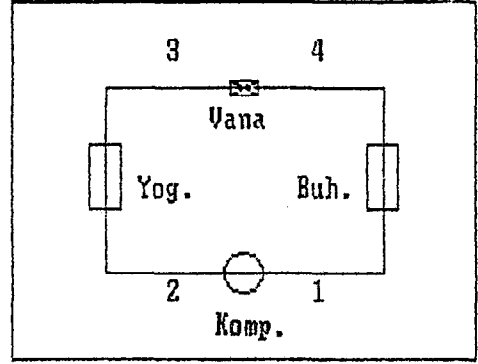
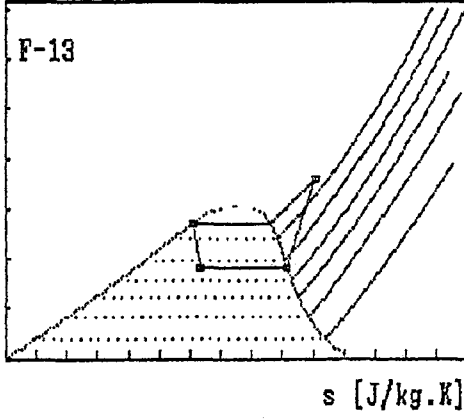
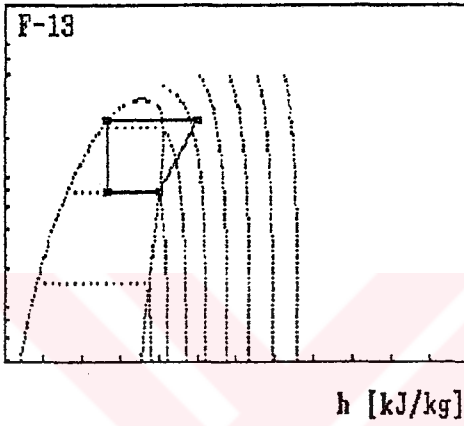


h [kJ/kg]

CEVRİM NOKTALARININ ÖZELLİKLERİ:

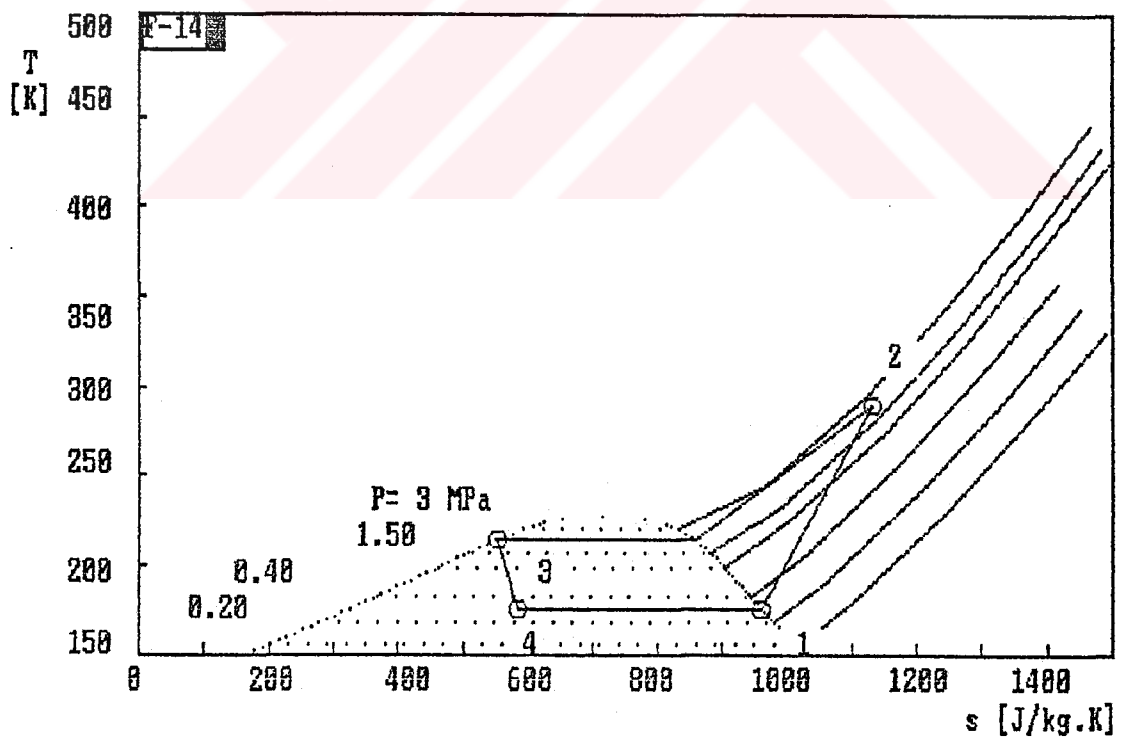
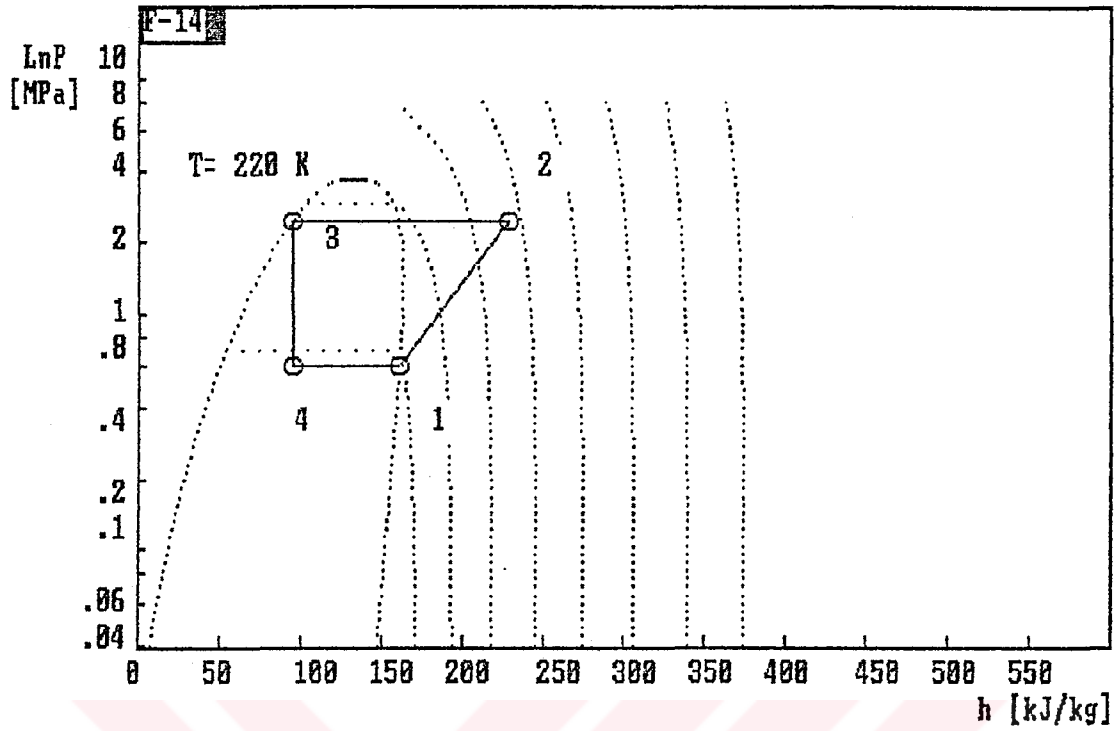
T [K]	P [MPa]	v [m ³ /kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg.K]	
268.88	0.1954	0.085389	218.64	0.8372	1 . Nokta
358.88	1.2146	0.016708	256.88	0.8771	2 . Nokta
323.88	1.2146	0.008825	113.61	0.4364	3 . Nokta
268.88	0.1954	0.033311	113.61	0.4640	4 . Nokta



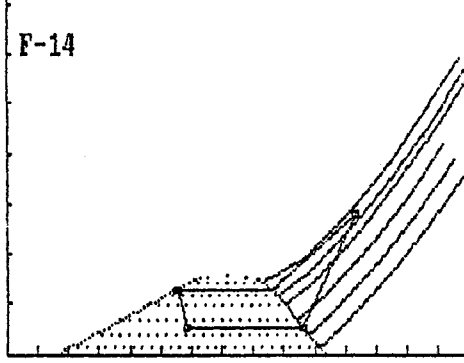
T
[K]LnP
[MPa]

CEVRİM NOKTALARININ ÖZELİKLERİ:

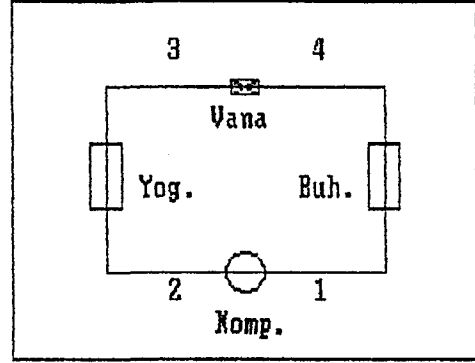
T [K]	P [MPa]	v [m ³ /kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg.K]	
240.00	0.7647	0.020706	280.96	0.9157	1 . Nokta
330.00	2.6296	0.000086	249.70	1.0069	2 . Nokta
285.00	2.6296	0.000982	133.20	0.6085	3 . Nokta
240.00	0.7647	0.009400	133.20	0.6333	4 . Nokta



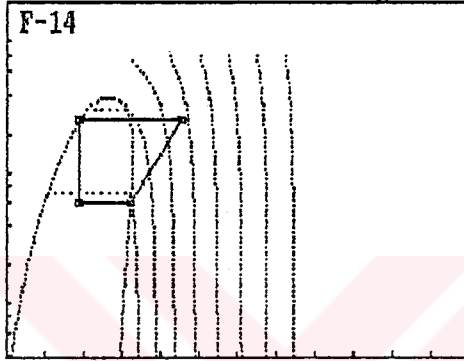
T
[K]



s [J/kg.K]



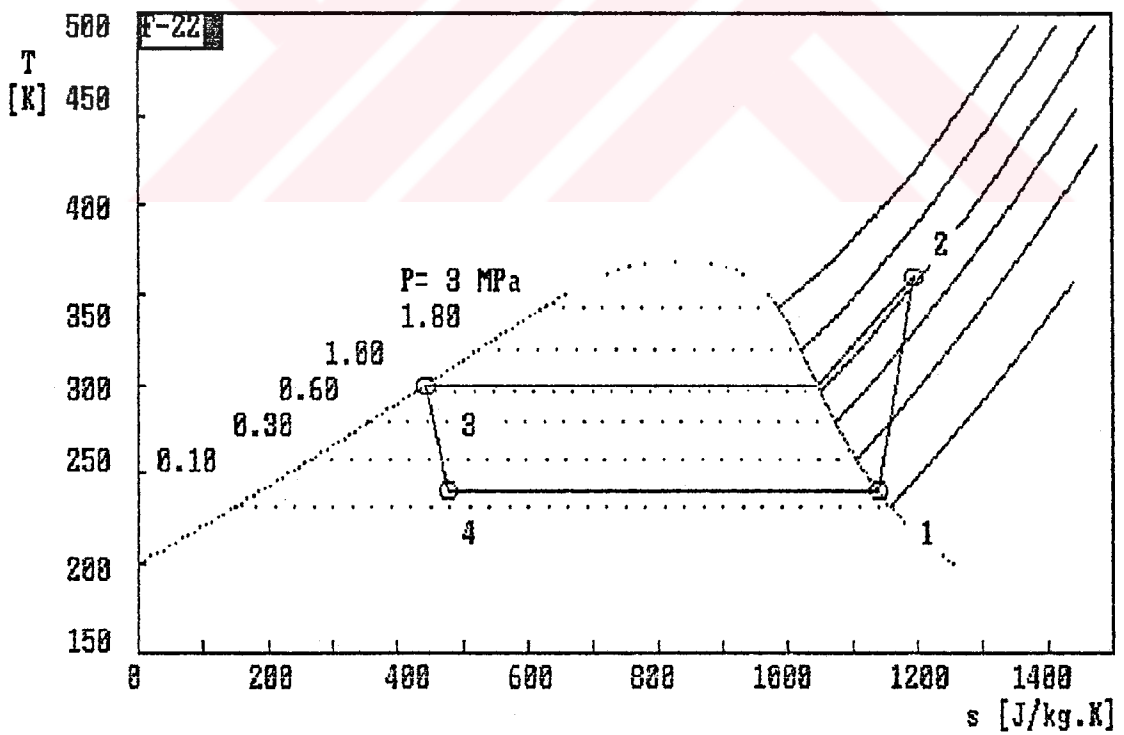
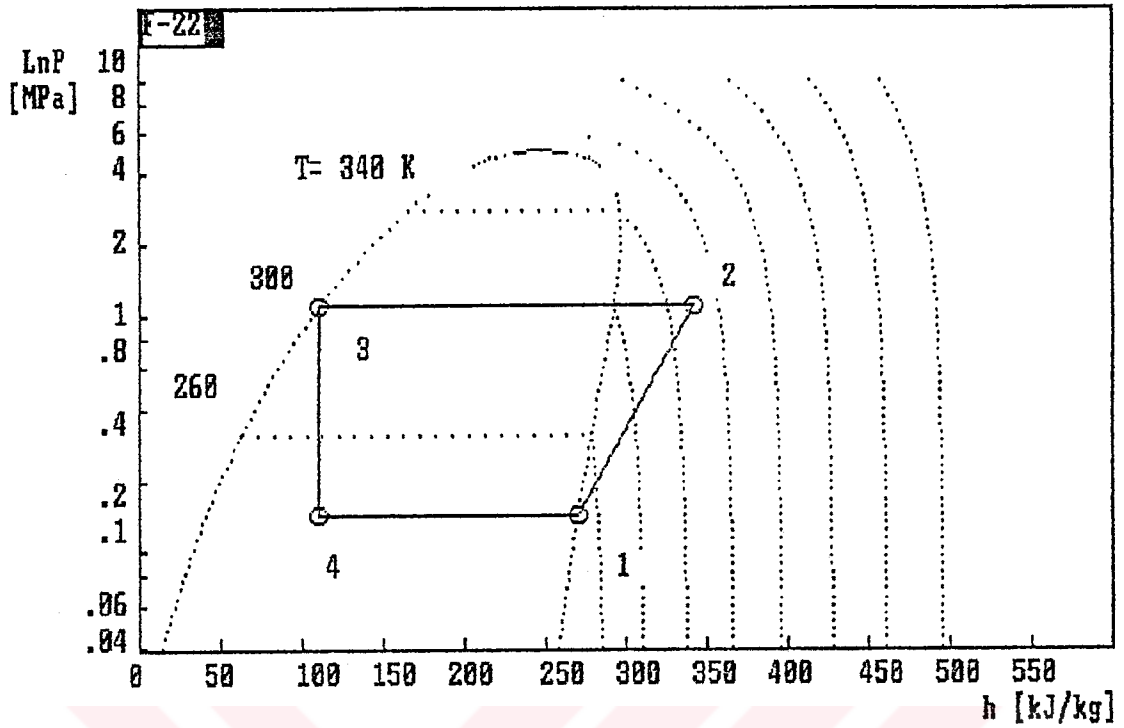
LnP
[MPa]

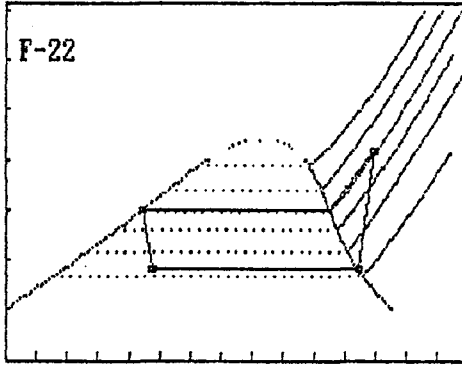


h [kJ/kg]

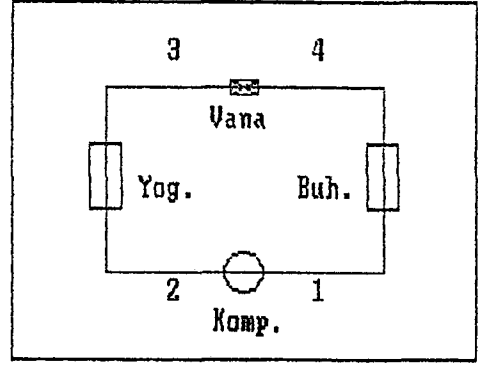
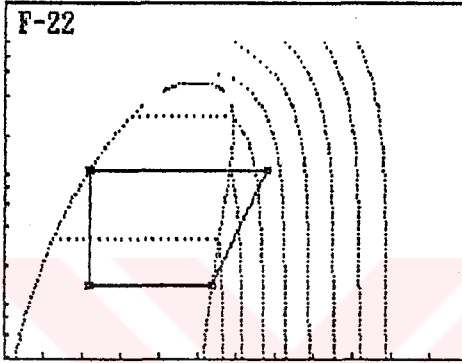
CEVRİM NOKTALARININ ÖZELİKLERİ:

T [K]	P [MPa]	ν [m ³ /kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg.K]	
176.37	0.6000	0.023570	161.02	0.9596	1 . Nokta
290.00	2.5000	0.009872	220.31	1.1320	2 . Nokta
214.30	2.5000	0.000910	94.93	0.5522	3 . Nokta
176.37	0.6000	0.009970	94.93	0.5049	4 . Nokta



T
[K]

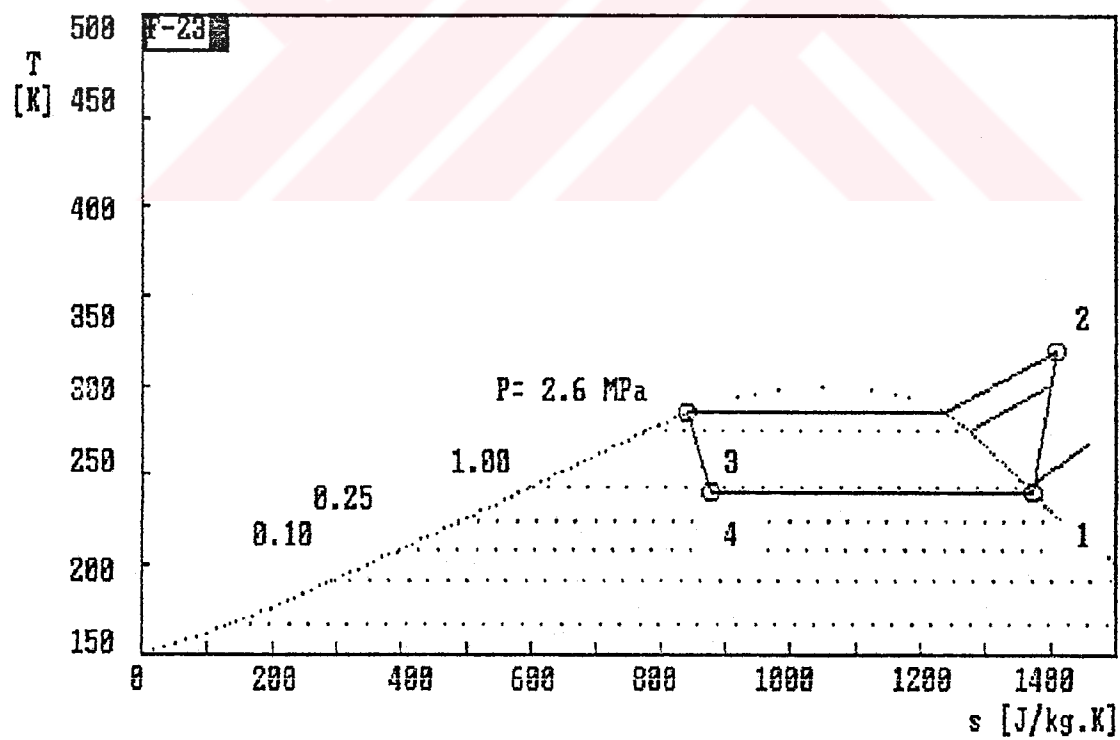
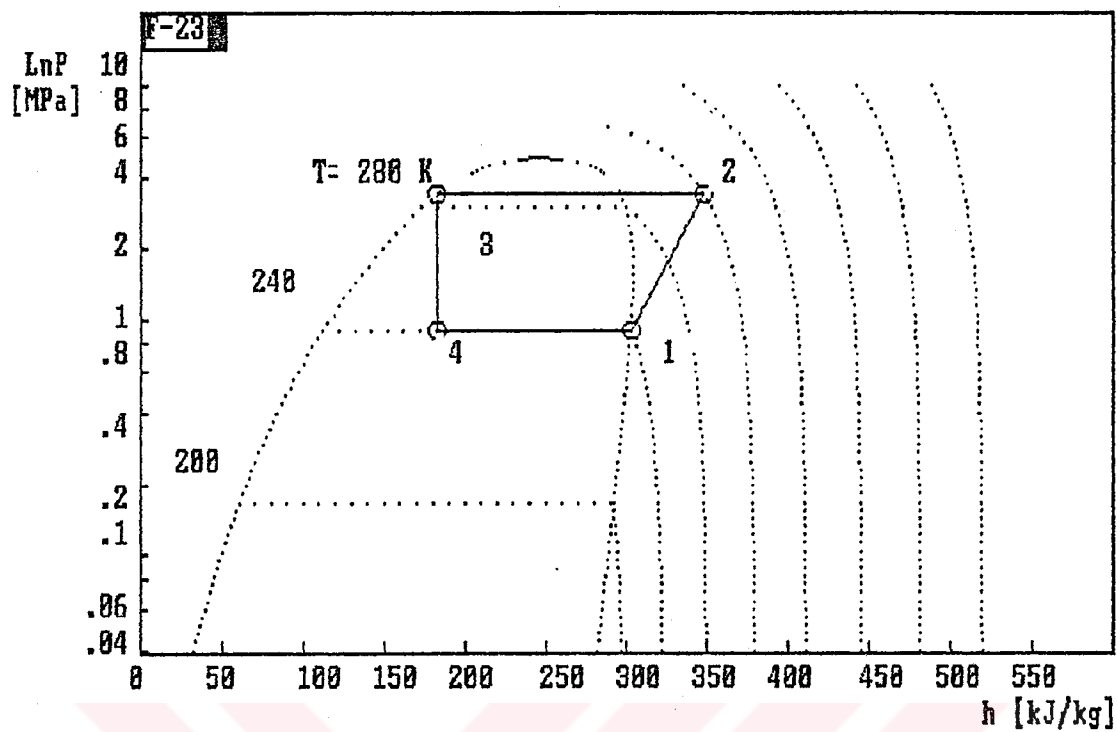
s [J/kg.K]

LnP
[MPa]

h [kJ/kg]

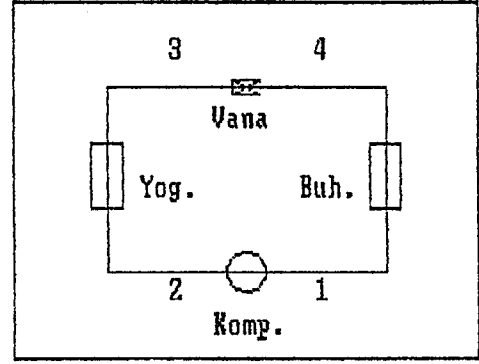
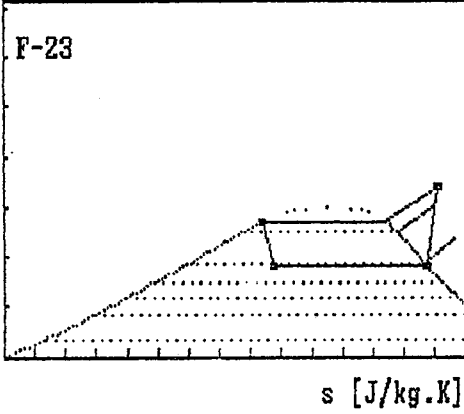
CEVRİM NOKTALARININ ÖZELİKLERİ:

T [K]	P [MPa]	v [m ³ /kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg.K]	
240.00	0.1428	0.154266	270.02	1.1404	1 . Nokta
360.00	1.0967	0.028774	340.81	1.1949	2 . Nokta
300.00	1.0967	0.000043	110.94	0.4428	3 . Nokta
240.00	0.1428	0.047604	110.94	0.4776	4 . Nokta

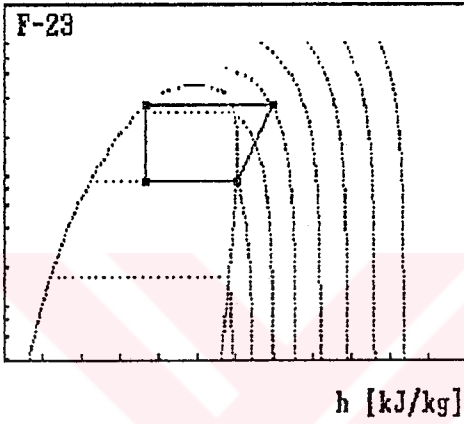


T
[K]

F-23

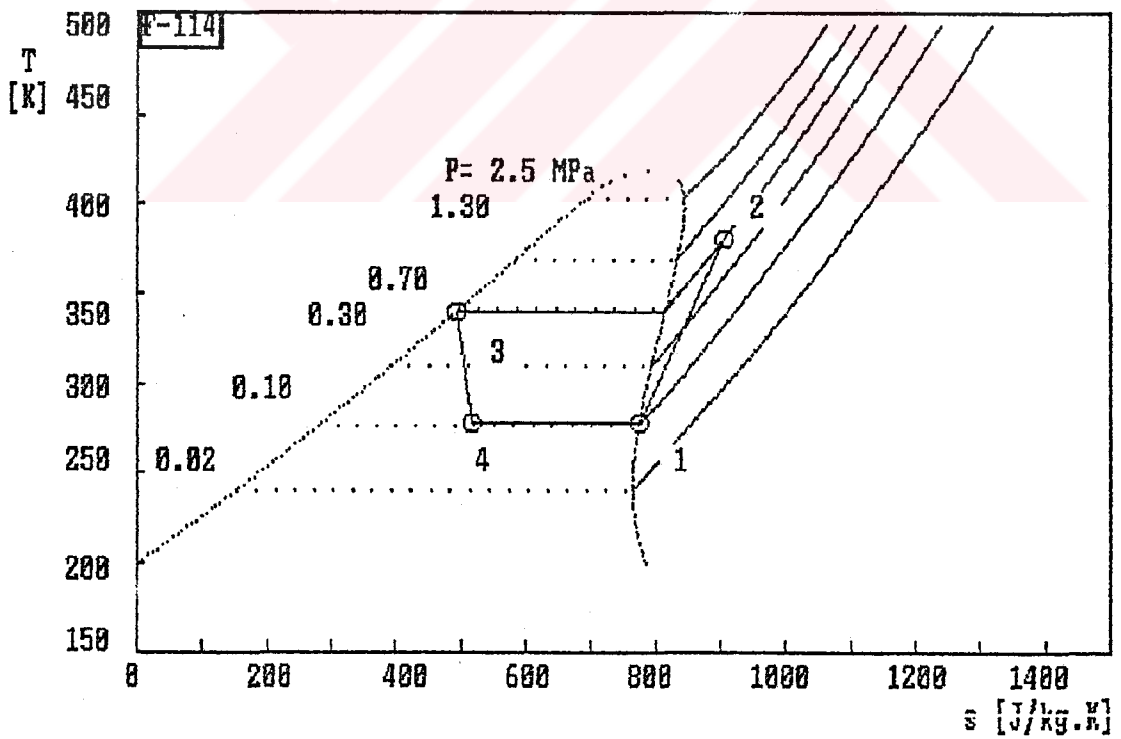
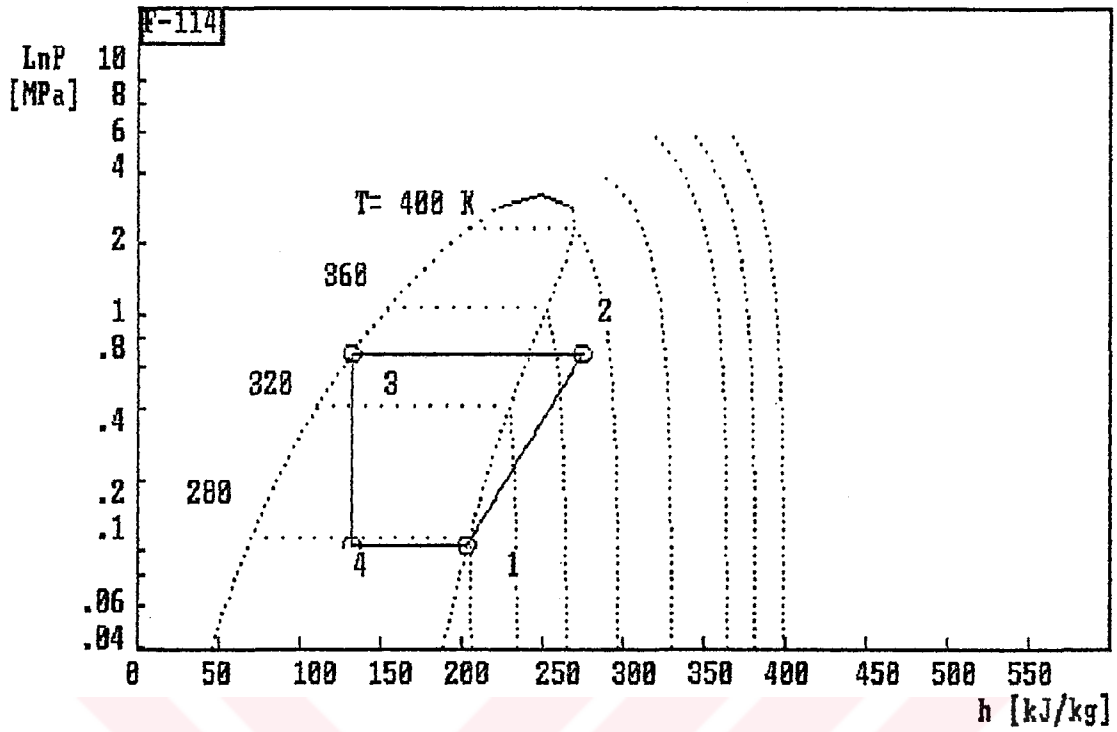
LnP
[MPa]

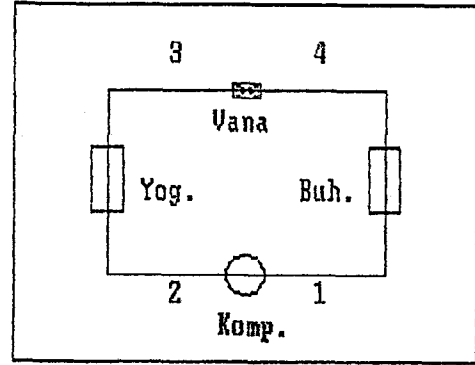
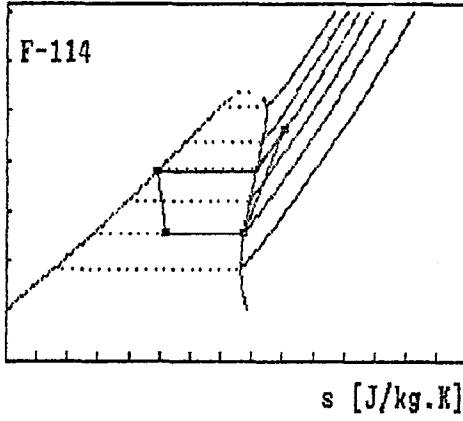
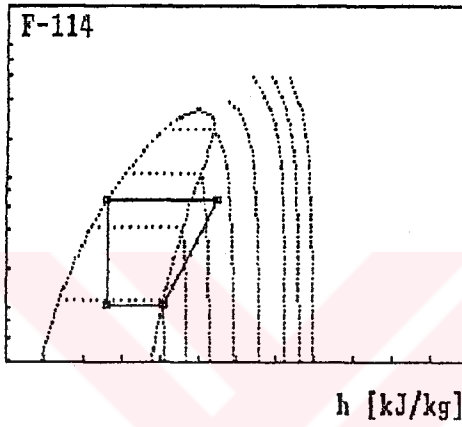
F-23



CEVRİM NOKTALARININ ÖZELLİKLERİ:

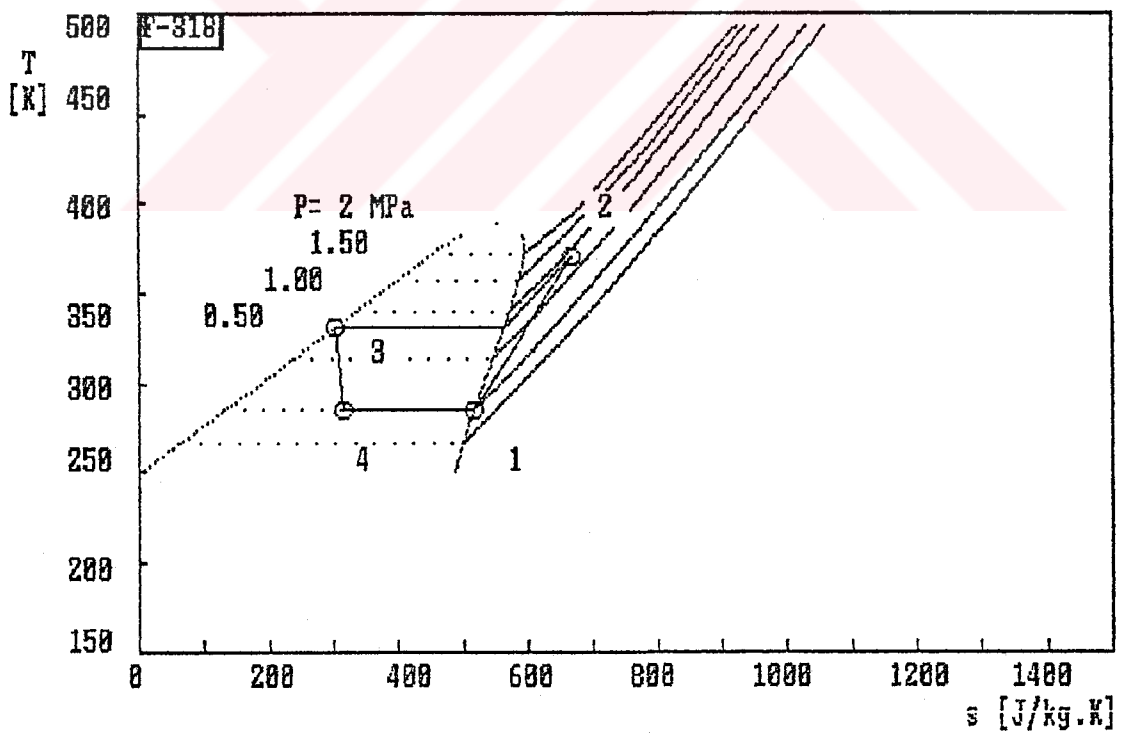
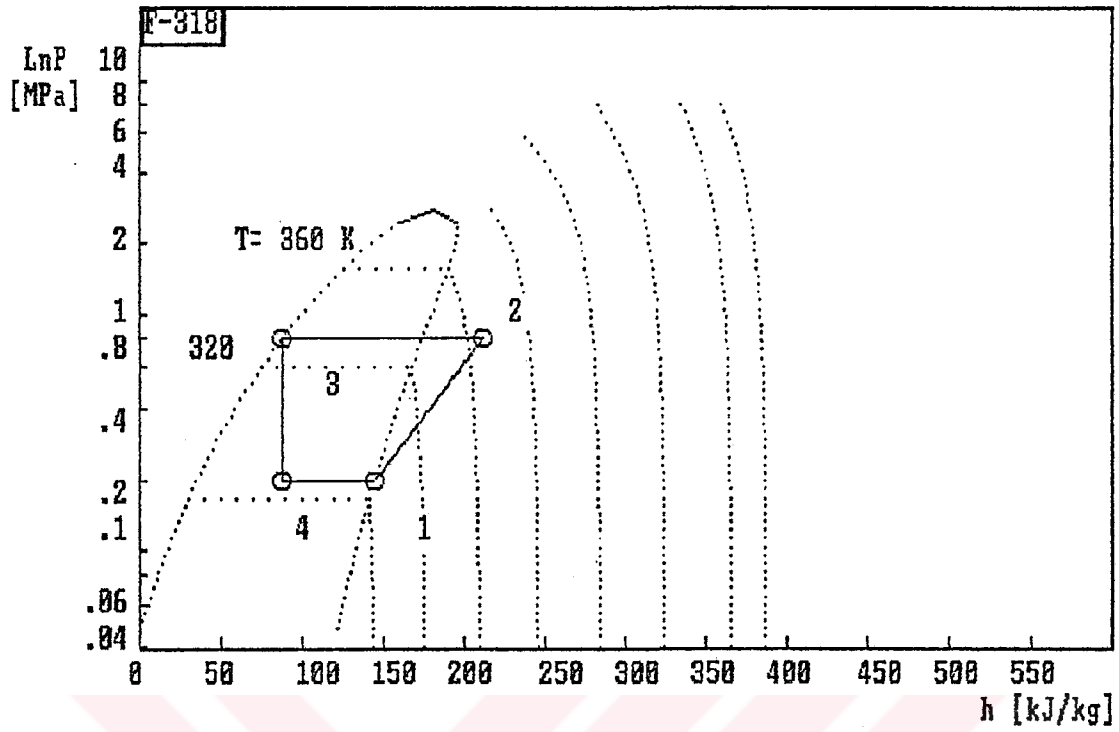
T [K]	P [MPa]	v [m ³ /kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg.K]	
240.00	0.9090	0.025021	302.27	1.3726	1 . Nokta
320.00	3.4105	0.008677	347.79	1.4098	2 . Nokta
205.00	3.4105	0.001089	163.07	0.8411	3 . Nokta
240.00	0.9090	0.010137	183.07	0.8759	4 . Nokta

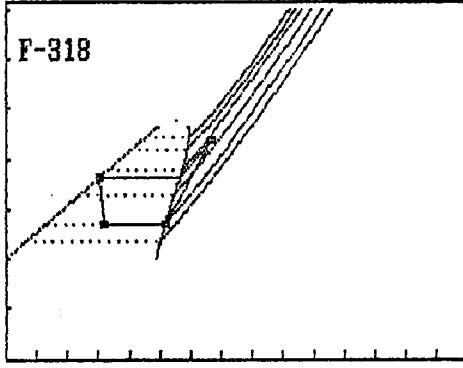


T
[K]LnP
[MPa]

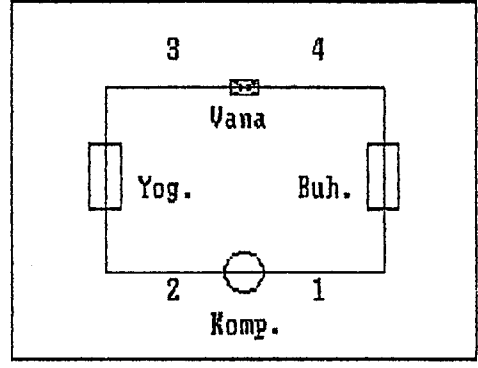
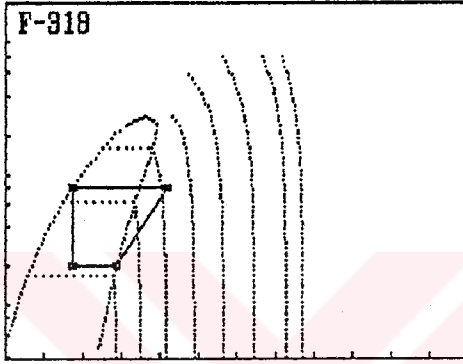
CEVRİM NOKTALARININ ÖZELİKLERİ:

T [K]	P [MPa]	v [m ³ /kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg.K]	
278.00	0.1055	0.122989	283.88	0.7737	1 . Nokta
380.00	0.6831	0.024173	274.57	0.9054	2 . Nokta
340.00	0.6331	0.000761	132.44	0.4926	3 . Nokta
278.00	0.1055	0.058684	132.44	0.5170	4 . Nokta



T
[K]

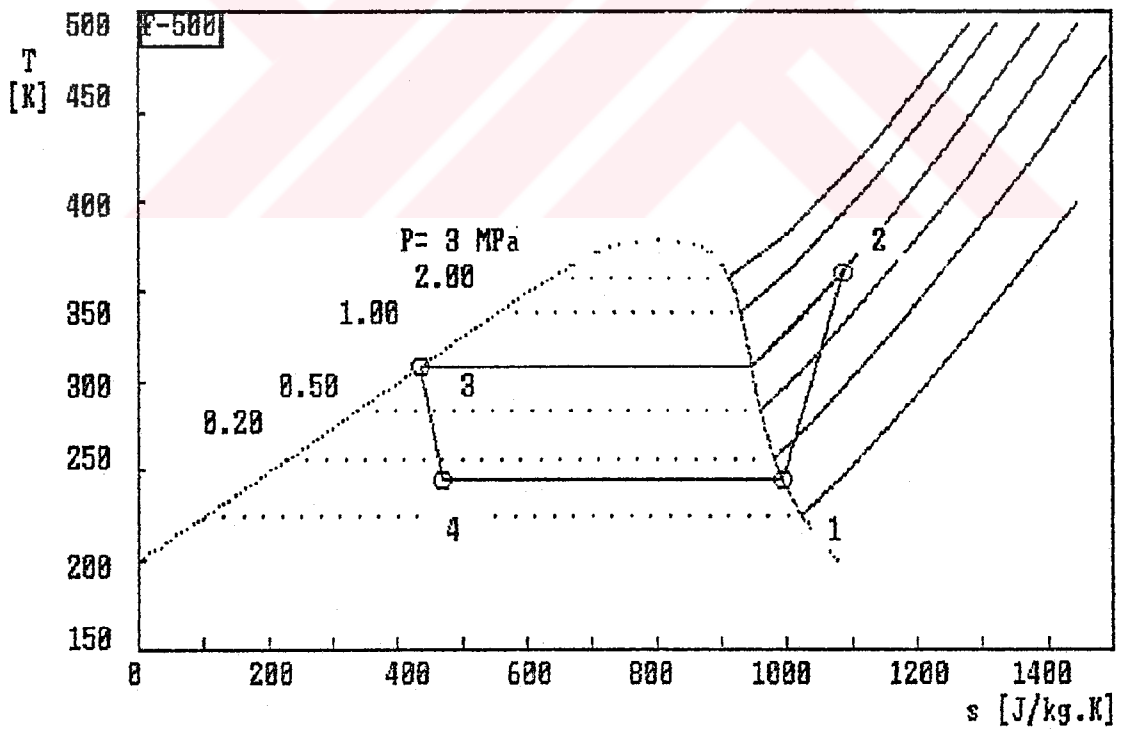
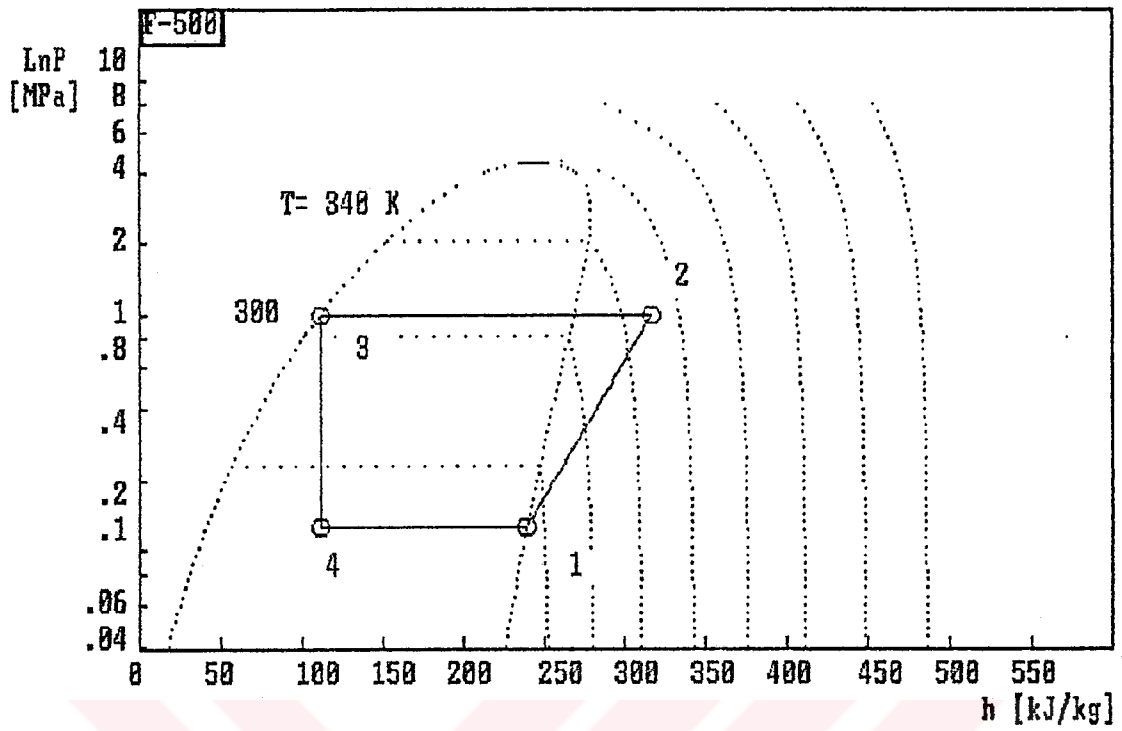
s [J/kg.K]

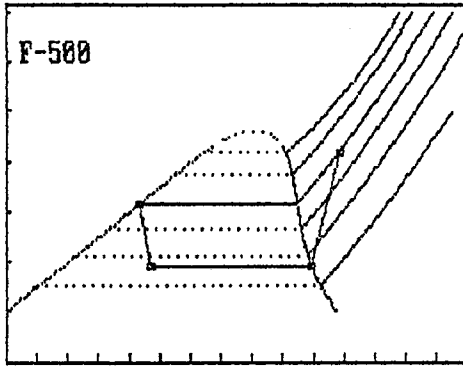
LnP
[MPa]

h [kJ/kg]

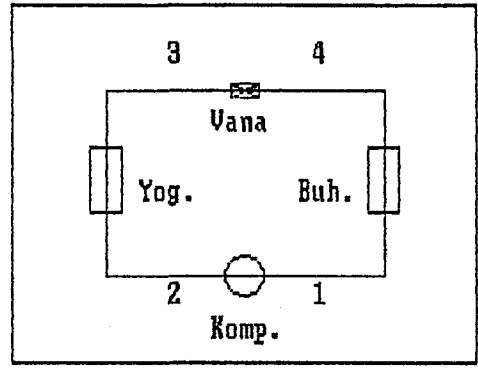
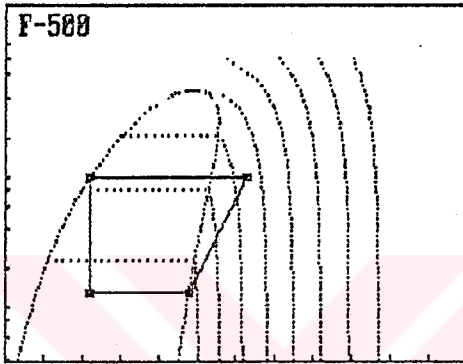
CEVRİM NOKTALARININ ÖZELİKLERİ:

T [K]	P [MPa]	v [m ³ /kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg.K]	
284.93	0.2000	0.054433	144.98	0.5165	1 . Nokta
370.00	0.8000	0.016763	211.65	0.6689	2 . Nokta
330.88	0.0000	0.000739	88.16	0.3019	3 . Nokta
284.93	0.2000	0.026612	88.16	0.3171	4 . Nokta



T
[K]

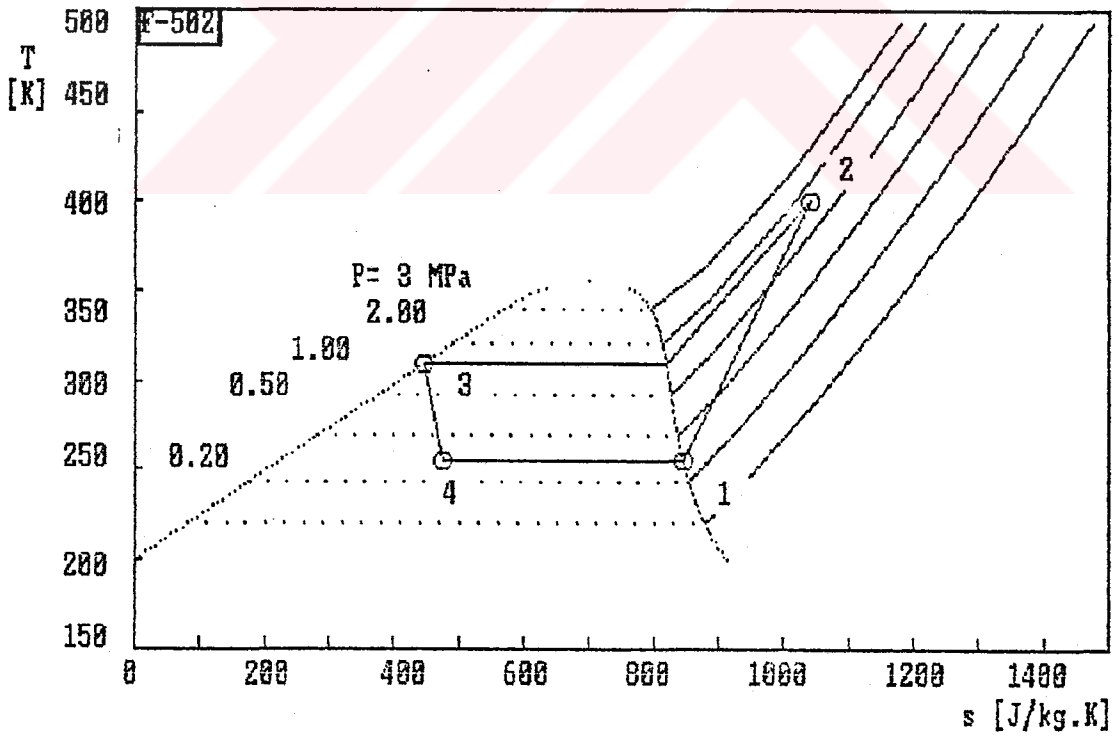
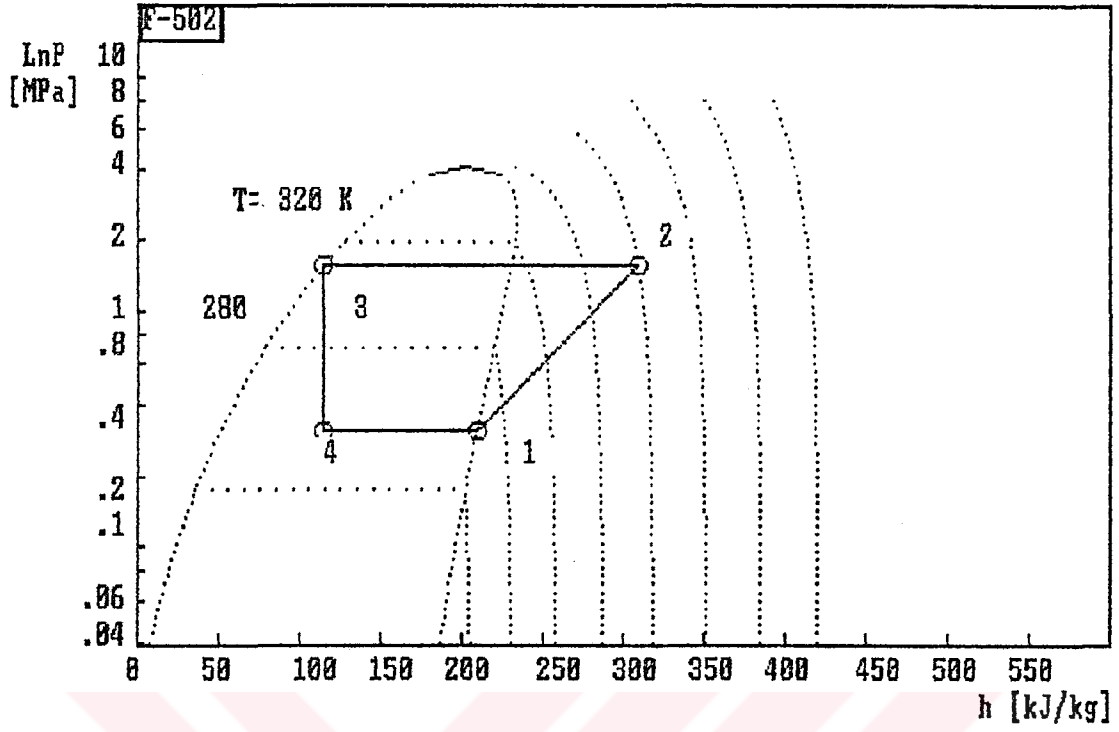
s [J/kg.K]

LnP
[MPa]

h [kJ/kg]

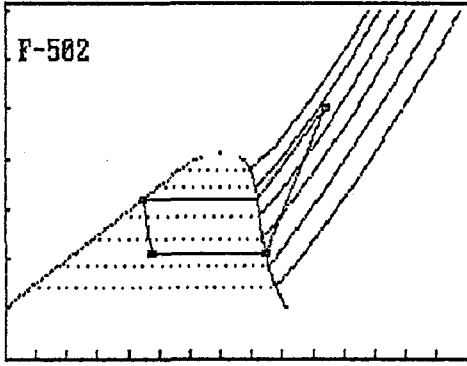
CEVRİM NOKTALARININ ÖZELLİKLERİ:

T [K]	P [MPa]	v [m ³ /kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg.K]	
245.00	0.1274	0.152802	239.40	0.9930	1 . Nokta
360.00	1.0000	0.027116	315.69	1.0876	2 . Nokta
300.10	1.0000	0.000893	111.25	0.4355	3 . Nokta
245.00	0.1274	0.054564	111.25	0.4707	4 . Nokta

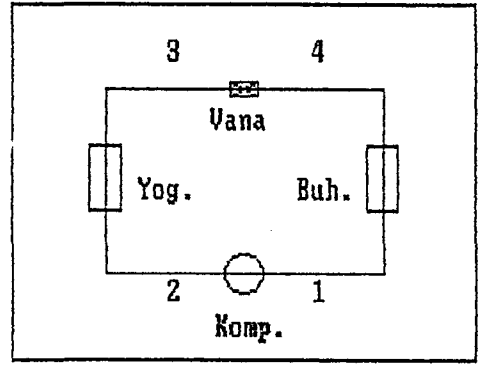


T
[K]

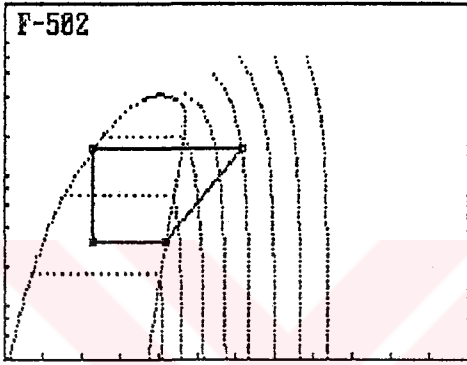
F-502



s [J/kg.K]

LnP
[MPa]

F-502



h [kJ/kg]

CEVRİM NOKTALARININ ÖZELİKLERİ:

T [K]	P [MPa]	v [m ³ /kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg.K]	
255.00	0.3114	0.055736	209.50	0.8450	1 . Nokta
400.00	1.5574	0.017348	300.60	1.0409	2 . Nokta
310.00	1.5574	0.000064	115.23	0.4472	3 . Nokta
255.00	0.3114	0.022992	115.23	0.4751	4 . Nokta

ÖZGEÇMİŞ

Yahya DOĞU, 1968 yılında Kırşehir'de doğdu. Orta ve lise eğitimini Kırşehir Boztepe Lisesi'nde tamamladı. 1985 yılında Boztepe Lisesi'nden birincilikle mezun olduktan sonra aynı yıl Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü'nde yüksek öğrenime başladı. 1989 yılında Makina Mühendisliği lisans diplomasını yine birincilikle aldı ve o yıl İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Billimleri Enstitüsü, Makina Anabilim Dalı, Enerji Programı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı.

Şu an İstanbul Teknik Üniversitesi, Sakarya Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Termodinamik Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

28.02.1992