

SOĞUTKAN KARIŞIMLARININ TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN PENG-ROBINSON-STRYJEK-VERA GERÇEK GAZ DENKLEMİ KULLANILARAK MODELLENMESİ

Mustafa Turhan ÇOBAN
Halil ATALAY

ÖZET

Günümüzde değişik alternatif soğutucu akışkanlar (soğutkanlar) soğutma sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu soğutkanlardan bazıları birden fazla saf soğutkanın belirli yüzdelerle karıştırılmasıyla oluşturulmuştur. Peng-Robinson-Stryjek-Vera denklemi gaz karışımlarının termodinamik özelliklerini hesaplamak için geliştirilmiş bir gerçek gaz denklemdir. Soğutkan karışımlarının termodinamik özelliklerinin hesaplanması için Java programlama dili kullanılarak bir model hazırlanmıştır. Modelde doyma termodinamik özellikleri kübik şerit interpolasyon ile hesaplanmakta, sıvı ve kızgın buhar bölgeleri ise Peng-Robinson-Stryjek-Vera denklemi ile bulunmaktadır. Peng-Robinson-Stryjek-Vera denklemi, kübik şerit denklemleri ve modelleme detayları bu çalışmada sunulmuştur. R402a, R402b, R401a, R401b soğutkan karışımlarının termodinamik özellikleri bu model tarafından hesaplanabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Soğutkan karışımları, Gerçek gaz denklemi, Peng-Robinson-Stryjek-Vera, Termodinamik özellikler

ABSTRACT

A variety of refrigerants are utilized in refrigeration systems. Some of these refrigerants are made by mixing of two or more pure refrigerants with a predetermined percentage. Peng-Robinson-Stryjek-Vera equation of state is developed to calculate properties of refrigerant mixtures. A simulation model is prepared by using Java programming language. In this model saturation properties are calculated through cubic spline curve fitting of the table values. Liquid and vapor regions are calculated by using PRSV EOS. Details of all this models are presented in this work. The thermodynamic properties of R402a, R402b, R410a and R401b are calculated by using PRSV EOS.

Key Words: Refrigerant mixtures, Real Gas equation of states, Peng-Robinson-Stryjek-Vera EOS, Thermodynamic properties.

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji sistemlerinin analizlerinde bilgisayar sistemlerinden yoğun olarak faydalanılmaktadır. Enerji sistemlerinin en temel özellikleri gazların termodinamik ve termo-fiziksel özellikleridir. Bu özelliklerin bilgisayar ortamında oluşturulabilmesi için temel gaz denklemlerini ve kullanımlarını, bilgisayar ortamına aktarma yöntemlerini iyi bilerek oluşturmak gerekmektedir. Bu

makalede, soğutucu akışkanlardan R404A, R407C, R401A, R401B, R402A, R402B vb. gazların termodinamik ve termo-fiziksel özelliklerini hesaplamada kullanılan Peng-Robinson-Stryjek-Vera (PRSV) denkleminin bilgisayar ortamında nasıl hesaplandığı üzerinde durulacaktır. Ayrıca, Java programlama dilinde geliştirilen “refrigerant.java” programında R407C gazının termodinamik ve termo-fiziksel özelliklerinin Peng-Robinson-Stryjek-Vera (PRSV) denklemi ile nasıl hesaplandığına yönelik örnek çalışma gösterilecektir.

2. PENG-ROBINSON-STRYJEK-VERA (PRSV) DENKLEMİ

Soğutucu akışkanların termodinamik özelliklerini hesaplanmasının Peng-Robinson-Stryjek-Vera (PRSV) denklemi kullanılarak nasıl yapıldığı aşağıda detaylı olarak verilmiştir. Peng-Robinson-Stryjek-Vera (PRSV) denklemi birçok soğutucu akışkanın tanımında kullanılan ve temel olarak buhar bölgesinin özelliklerini tanımlayan bir gerçek gaz hal denklemdir. Bu denklem ile özellikle R404A,R407C,R401A,R401B,R402A,R402B gibi karışım gazlarının sıcaklık, basınç, özgül hacim, entalpi, iç enerji, entropi gibi termodinamik özelliklerinin hesaplanmasında kullanılan hal denklemdir.

Peng-Robinson-Stryjek-Vera (PRSV) denklemi:

$$P(v,T) = \frac{RT}{v-b} - a(v^2 + 2bv + b^2) \quad (1)$$

şeklinde dir. Bu denklemdaki

$$a = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 x_i x_j a_{ij} \quad (2)$$

$$b = \sum_{i=1}^3 x_i b_i \quad (3)$$

Şeklinde hesaplanabilir.

x_i =i bileşenine ait mol değeridir.

x_j =j bileşenine ait mol değeridir.

$$a_i = \left(0.457235 \frac{R^2 T_{ci}^2}{P_{ci}} \right) \alpha_i \quad (4a)$$

$$a_j = \left(0.457235 \frac{R^2 T_{cj}^2}{P_{cj}} \right) \alpha_j \quad (4b)$$

k_{ij} =i ve j bileşenleri için ikili parametre

$$\alpha_i = [1 + \kappa_i T_{ri}^{0.5}]^2 \quad (5)$$

$$\kappa_i = \kappa_{0i} + \kappa_{1i} [(1 + T_{ri}^{0.5})(0.7 - T_{ri})] \quad (6)$$

Not: $Tr > 0.7$ için $\kappa_i = \kappa_{0i}$

$$\kappa_{0i} = 0.378893 + 1.4897153\omega_i - 0.17131848\omega_i^2 + 0.019655\omega_i^3 \quad (7)$$

$$K_{0i} = 0.378893 + 1.4897153 w_i - 0.17131848 w_i^2 + 0.019655 w_i^3 \quad (8)$$

K_{1i} = i bileşeni için ayarlanabilir parametre

$$\text{İndirgenmiş sıcaklık } T_{ri} = T_i / T_{ci} \quad (9)$$

$R, T_{ci}, P_{ci}, w_i, k_{1i}, x_i, k_{ij}$ değerleri a ve b değerlerinin hesaplanması için gereklidir. Burada $R = 0.008314$ kJ/mol K'dir.

Bu yazımızda örnek olarak hesaplayacağımız R407C soğutucu akışkanı için $R, T_{ci}, P_{ci}, w_i, k_{1i}, x_i, k_{ij}$ değerleri aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Bileşen	i	T_{ci}	P_{ci}	ω_i	κ_{1i}	x_i
HFC -32	1	351.60	5830.0	0.2763	-0.0250	0.38110
HFC -125	2	339.19	3595.0	0.3023	0.0310	0.17956
HFC- 134a	3	374.20	4056.0	0.3266	-0.0060	0.43934

R407C için κ_{ij} değerleri aşağıda verilmiştir:

$$\begin{array}{lll} \kappa_{11} = 0.00000 & \kappa_{12} = -0.00028 & \kappa_{13} = -0.00815 \\ \kappa_{21} = -0.00028 & \kappa_{22} = 0.00000 & \kappa_{23} = -0.00240 \\ \kappa_{31} = -0.00815 & \kappa_{32} = -0.00240 & \kappa_{33} = 0.00000 \end{array}$$

İdeal gaz özgül ısı denklemi termodinamik modelin oluşması için gerekli diğer bir denklemdir. Peng-Robinson-Stryjek-Vera (PRSV) Hal denklemi için C_p denklemi aşağıdaki gibidir:

$$C_p = \sum_{i=1}^3 x_i C_{pi} \quad (10)$$

$$C_{pi} = 4.184(A_i + B_i T + C_i T^2 + D_i T^3 + E_i T^4 + F_i T^5) \quad (11)$$

$$C_v = C_p - R \quad (12)$$

R407C için C_{pi} denklemi yer alan $A_i, B_i, C_i, D_i, E_i, F_i$ katsayıları aşağıda verilmektedir:

$$\begin{array}{ll} A_1 = 1.226880E+01 & B_1 = -0.699113E-01 \\ A_2 = 1.170140E+01 & B_2 = 0.216411E-01 \\ A_3 = 0.463685E+01 & B_3 = 0.617914E-01 \\ \\ C_1 = 0.394642E-03 & D_1 = -0.837462E-06 \\ C_2 = 0.868526E-04 & D_2 = -0.112776E-06 \\ C_3 = -0.309907E-04 & D_3 = 0.000000E+00 \\ \\ E_1 = 0.859548E-09 & F_1 = 0.000000E+00 \\ E_2 = 0.000000E+00 & F_2 = 0.000000E+00 \\ E_3 = 0.000000E+00 & F_3 = 0.000000E+00 \end{array}$$

Bir soğutucu akışkanın termodinamik özelliklerini belirlemek için gerekli olan termodinamik değerlerin tamamı yukarıda listelenilen denklemler yardımıyla hesaplanabilir. Yukarıda direk olarak verilmeyen entalpi, entropi gibi fonksiyonların bu fonksiyonlardan türetilmesi için temel termodinamik bağıntılar kullanılır. Maxwell bağıntıları adını verilen 4 temel bağıntı

$$\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_s = \left(\frac{\partial P}{\partial s}\right)_v \quad (13a)$$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_s = \left(\frac{\partial V}{\partial s}\right)_p \quad (13b)$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v = \left(\frac{\partial s}{\partial V}\right)_T \quad (13c)$$

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p = \left(\frac{\partial s}{\partial P}\right)_T \quad (13d)$$

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

$$h=u+PV(14)$$

$$ds = \left(\frac{C_v^0}{T}\right)_v dT + \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_T dV \quad (15)$$

$$s = s_0 + \int_{T_0}^T \left(\frac{C_v^0}{T}\right)_v dT + \int_{v_0}^v \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_T dV \quad (15a)$$

$$du = C_v^0 dT + \left[T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v - P \right] dV \quad (16)$$

$$u = u_0 + \int_{T_0}^T C_v^0 dT + \int_{v_0}^v \left[T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v - P \right] dV \quad (16a)$$

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

3. DOYMA DEĞERLERİ HESAPLAMASINDA KULLANILAN KÜBİK ŞERİT İNTERPOLASYON DENKLEMLERİ

Doyma bölgesinin modellenmesinde tablo verilerinin direk olarak kübik şerit interpolasyonu ile eğri uydurulması kullanılmıştır. Kübik şerit eğri uydurmanın temeli, tüm noktalardan geçen fonksiyon değerleri ile noktaları bağlamaktır. Örneğin üçüncü dereceden bir polinom düşünebiliriz.

$$r_k(x) = a_k(x-x_k)^3 + b_k(x-x_k)^2 + c_k(x-x_k) + y_k \quad 1 \leq k \leq n \quad (17)$$

Kübik şerit veri uydurma sürecinde fonksiyon değerlerinin veri noktalarından geçmesi gerekir.

$$r_k(x_{k+1})=y_{k+1} \quad 1 \leq k \leq n \quad (18)$$

Aynı zamanda birinci türevlerin de sürekli olması gerekir.

$$r'_{k-1}(x_k)=r'_k(x_k) \quad 1 \leq k \leq n \quad (19)$$

Üçüncü dereceden polinom için ikinci türevler de eşitlenebilir.

$$r''_{k-1}(x_k)=r''_k(x_k) \quad 1 \leq k \leq n \quad (20)$$

Tüm sistemi çözmek için iki şart daha gerekir. Bu şartlar

$$r''_1(x_1)=0 \quad (21)$$

$$r''_{n-1}(x_n)=0 \quad (22)$$

olarak alınırsa buna doğal kübik şerit interpolasyonu adı verilir. Başka sınır şartları belirlenmesi de mümkündür.

$$h_k=x_{k+1}-x_k \quad 1 \leq k \leq n \quad (23)$$

Tüm bu şartlar bir denklem sistemi olarak bir araya toplanırsa:

$$a_k h_k^3 + b_k h_k^2 + c_k h_k = y_{k+1} - y_k, \quad 1 \leq k \leq n \quad (24)$$

$$3a_{k-1} h_{k-1}^2 + 2b_{k-1} h_{k-1} + c_{k-1} - c_k = 0 \quad 1 \leq k \leq n \quad (25)$$

$$6a_{k-1} h_{k-1} + 2b_{k-1} + 2b_k = 0 \quad 1 \leq k \leq n \quad (26)$$

$$2b_0 = 0 \quad (27)$$

$$6a_{n-1} h_{n-1} + 2b_{n-1} = 0 \quad (28)$$

seti oluşur bu set 3n-3 denklem içerir. Bu sayıda denklemi bir arada çözme işlemi matris çözümlenmesine oldukça ağır bir yük getirebilir artı hata olasılıklarını artırır. Toplam çözülmesi gereken denklem sayısını azaltmanın bir yolu değiştirilmiş özel bir üçüncü dereceden polinom kullanmaktır. Eğer kübik şerit polinom

$$s_k(x)=a_k(x-x_k)+b_k(x_{k+1}-x)+[(x-x_k)^3 c_{k+1}+(x_{k+1}-x)^3 c_k]/(6h_k) \quad 1 \leq k \leq n \quad (29)$$

şeklinde verilmiş ise

$$s'_k(x)=a_k - b_k + [(x-x_k)^2 c_{k+1} - (x_{k+1}-x)^2 c_k]/(2h_k) \quad 1 \leq k \leq n \quad (30)$$

$$s''_k(x)=[(x-x_k) c_{k+1} + (x_{k+1}-x) c_k]/h_k \quad 1 \leq k \leq n \quad (31)$$

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

$$b_k=[6y_k-h_k c_k]/(6h_k), \quad 1 \leq k \leq n \quad (32)$$

$$a_k=[6y_{k+1}-h_k^2 c_{k+1}]/(6h_k), \quad 1 \leq k \leq n \quad (33)$$

Bu durumda çözülmesi gereken denklem sistemi sadece c_k terimlerine dönüşür.

$$h_{k-1}c_{k-1} + 2(h_{k-1} - h_k)c_k + h_k c_{k+1} = 6 \left[\frac{y_{k+1} - y_k}{h_k} - \frac{y_k - y_{k-1}}{h_{k-1}} \right] \quad 1 \leq k \leq n \quad (34)$$

bu sistemde toplam n-2 denklem mevcuttur.

$$w_k = \frac{y_{k+1} - y_k}{h_k}, \quad 1 \leq k \leq n \quad (35)$$

tanımını yaparsak çözülecek denklem sistemi

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ h_1 & 2(h_1 + h_2) & h_2 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & h_2 & 2(h_2 + h_3) & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 2(h_{n-3} + h_{n-2}) & h_{n-2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & h_{n-2} & 2(h_{n-2} + h_{n-1}) & h_{n-1} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ \dots \\ c_{n-2} \\ c_{n-1} \\ c_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \\ 6(w_2 - w_1) \\ 6(w_3 - w_2) \\ \dots \\ 6(w_{n-2} - w_{n-3}) \\ 6(w_{n-1} - w_{n-2}) \\ B \end{bmatrix} \quad (36)$$

şeklini alır.

Burada A ve B kullanıcı tarafından verilmesi gereken ikinci türev sınır şartlarıdır. Doğal kübik şerit interpolasyonu uygulanırsa bu değerler 0 olur.

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

Denklem (1) den de görüleceği gibi PRSV hal denklemimiz P(v,T) formunda verilmiştir. Denklem özgül hacim(v) ve sıcaklık(T) verildiğinde basınç(P) değerini hesaplar. Bu denklemden türetilen tüm diğer entalpi, iç enerji ve entropi gibi termodinamik özellikler de aynı şekilde X(v,T) formundadır. Termodinamik ve ısı transferi hesapları yapılırken bilinen termodinamik çift değişebilir. Hal denklemi açısından bakacak olunursa 3 değişik forma ihtiyaç olduğu görülür. Bunlar P(v,T), v(P,T) ve T(v,P) dir. Hal denklemi P(v,T) olarak verildiğinden diğer durumların çözümü kök bulma yöntemlerinin kullanılmasını gerektirir. Örneğin v(P_i,T_i) değerini bulunmak istenirse

F(v,T_i,P_i) = P(v,T_i) - P_i = 0 denkleminin çözülmesi gerekir. Buradaki T_i ve P_i verilmiş olan termodinamik değerler olup v değeri bilinmemektedir. Bu denklemin çözülmesinde kök bulma yöntemleri kullanılabilir, Örneğin Newton-Raphson yöntemi

$$v_n = v_{n-1} + \frac{F(v, T_i, P_i)}{\left(\frac{\partial F(v, T_i, P_i)}{\partial v} \right)} \quad (37)$$

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

5. BİLGİSAYAR PROGRAMLARININ TANIMLANMASI

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

Termodinamik bilimine göre denge halindeki bir akışkanın termodinamik özelliklerini hesaplamak için 2 adet bilinen değişkenin gerekir. Modelde bilinen değişken setleri olarak

tx: sıcaklık-doymuş karışım kuruluk derecesi
tp veya pt: sıcaklık – basınç
tv veya vt: sıcaklık – özgül hacim
th: sıcaklık – entalpi
tu: sıcaklık – iç enerji
ts: sıcaklık – entropi
pv veya vp: basınç – özgül hacim
ph: basınç – entalpi
pu: basınç – iç enerji
ps: basınç – entropi
px: basınç - doymuş karışım kuruluk derecesi

yukarıdaki parametreler kullanılır. Programlar isteyen kullanıcılar tarafından kendi programlarında çağrılarak uygulanabilir. Programlar Java programlama dilinde yazıldığından bir java programında, örnek olarak sıcaklık-doymuş karışım kuruluk derecesi bilinen termodinamik değişkenler cinsinden:

```
refrigerant st=new refrigerant("R407C");  
double sıcaklık=20.0;  
double kurulukderecesi=1.0;  
double a[]=st.property("tx",sıcaklık, kurulukderecesi);
```

şeklinde çağrılabilir. Sonuçlar a boyutlu değişkenine

a[0] P basınç MPa
a[1] t sıcaklık C
a[2] v özgül hacim m³/kg
a[3] h entalpi KJ/kg
a[4] u iç enerji KJ/kg
a[5] s entropi KJ/kgK
a[6] x kuruluk derecesi kg vapor/kg total phase
a[7] ro yoğunluk kg/m³

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

SOĞUTKANLARIN TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİ		
birim	SI	
Soğutkan ismi	R407C	R407C
bilinen değişken çiftini seçiniz :	tx	tx
Sıcaklık	0	derece C
Doğunluk derecesi	0	kg buhar/kg karışım
Dr. Turhan Çoban, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği bölümü eposta : turhan.coban@ege.edu.tr Çeşitli hal denklemleri kullanılmıştır		
P, basınç	560.3	kPa
T, sıcaklık	0.0	derece C
v, özgül hacim	8.10898475510866E-4	m ³ /kg
h entalpi	200.0	KJ/kg
u, iç enerji	199.54565358417125	KJ/kg
s, entropi	1.0	KJ/kg.K
x, kuruluk derecesi	0.0	kg buh/kg kar.
yoğunluk	1233.2	kg/m ³
faz	doymuş sıvı	

Şekil 1. R407C Tx Tablosu (Doymuş Sıvı)

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

SONUÇ

Bu çalışmada Peng-Robinson-Stryjek-Vera (PRSV) hal denkleminin temel özellikleri ve bilgisayar ortamında bu hal denklemini ile çalışan soğutucu akışkanların termodinamik özelliklerinin nasıl hesaplandığı ilgili temel tanımlar verilmiş ve R407C gazının termodinamik özelliklerinin nasıl hesaplandığı örnek olarak gösterilmiştir. Geliştirilmiş olunan "refrigerant.java" programında Peng-Robinson-Stryjek-Vera (PRSV) hal denklemini ile hesaplanan diğer gazların termodinamik özellikleri de benzer yöntemle hesaplanabilmektedir. Termodinamik özelliklerin bilgisayar ortamında kolay kullanım olanaklarıyla hazır bulunması, bize ısıl süreç hesaplarını yapmada büyük bir kolaylık getirecek ve sayısal süreç optimizasyonunu yapılmasını sağlayacaktır. Bu daha enerji verimi yüksek sistemler tasarımı için temel koşullardan biridir.

KAYNAKLAR

- [1] STEWART Richard B., JACOBSEN, Richard T., PENONCELLO ,Steven G.ASHRAE Thermodynamic Properties of Refrigerants
- [2] ÇENGEL, Yunus, BOLES, Michael Thermodynamics An Engineering Approach, 5th ed., McGraw-Hill.
- [3] Refrigeration Equipment, A.C. Bryant, ISBN: 0750636882, Elsevier Science & Technology Books, Ağustos 1998
- [4] Air Conditioning Engineering, W. P. Jones, ISBN: 0750650745, January 2001
- [5] WHITE, FRANK, FLUID MECHANICS, WHITE, FRANK, M. MC GRAW HILL

- [6] ÇOBAN, M. Turhan, "Kübik şerit ve B şerit interpolasyon yöntemi kullanarak soğutucu akışkanların doyma termodinamik özelliklerinin hassas olarak oluşturulması", I Soğutma Teknolojileri Sempozyumu bildiri kitabı, 6-12 Ekim 2008, ISBN: 978-605-5771-00-3
- [7] ÇOBAN, M. Turhan, Soğutucu akışkanların termodinamik özellikleri, Martin-Hou hal denklemi, III. Ege Enerji Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Muğla Üniversitesi, Muğla, sayfa 521–528
- [8] ÇOBAN, M. Turhan, Sayısal Metodların Soğutma Dünyasına uygulanması: Soğutucu akışkanların termodinamik özellikleri, değiştirilmiş Benedict- Webb-Rubin hal denklemi. Soğutma Dünyası ISSN 1304–1908

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Turhan ÇOBAN

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

Halil ATALAY

1984 yılı, Gemlik doğumludur. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Uşak Kampüsü Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Halen EGE Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde MSc. Eğitimine Enerji Ana Bilim Dalı'nda devam etmektedir. Askerliğini yapmıştır.