

GERÇEK GAZLARIN TERMODİNAMİK VE TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN LEE-KESLER HAL DENKLEMİ KULLANILARAK MODELLENMESİ

M. Turhan ÇOBAN

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bornova, İZMİR
turhan.coban@ege.edu.tr

Özet: İdeal gaz termodinamik modeli birçok prosede düşük basınç davranışlarını modellemek için yeterli olabilmektedir. Ancak bazı proseler için gazların daha doğru termodinamik özelliklerinin bilinmesi gereği mevcuttur. Bu çalışmada gerçek gazların termodinamik özellikleri Benedict-Webb-Rubin hal denkleminin değiştirilmiş bir formu olan Lee-Kesler denklemi kullanılarak modellenmiştir. Temel programlar Java programlama dilinde sınıf yapısında oluşturulmuştur. Modelleme yanma termodinamik denklemlerinin tabanını oluşturan kimyasal entalpi, gibbs serbest enerjisi gibi termodinamik özellikleri de kapsamaktadır. Serbest program kodu olarak sunulacak modellerle, çevrim ve yanma analizlerinin ve proses optimizasyonunun tüm çalışma gurupları için daha kolay bir şekilde modellenebilmesi hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Termodinamik, Gerçek Gaz, Hal denklemi, Lee-Kesler

MODELLİNG THERMODYNAMIC AND THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF REAL GASES BY USING LEE-KESLER EQUATION OF STATE

Abstract: Ideal gas equation of state is sufficient to model many processes. But for some processes more accurate information about thermodynamic properties might be required. Thermodynamic properties of real gases are modelled by using A modified form of Benedict- Webb-Rubin equation of state called Lee-Kesler equation of state. Basic programs are developed in Java programming language in class structure. Models also include thermochemical property base calculation parameters such as chemical enthalpy, gibbs free energy etc. Models are offered as GNU license for all researchers to utilize in their own research on combustion, process design and optimisation.

Key Words: Thermodynamics, Real gas, Equation of State, Lee-Kesler

1. GİRİŞ

Herhangi bir ısı sistemi dizayn etmek istediğimizde karşımıza çıkacak ilk problem gazlar için gerçekçi bir basınç, özgül hacim, sıcaklık (P, v, T) bağıntısının kullanılmasıdır. Burada yapılacak en kaba tahmin gazların ideal gaz davranışı göstereceğini varsaymak ve diğer özellikleri bu bağıntı üzerinden geliştirmektir.

Bir çok prosede ideal gaz hal denklemi çok da büyük hatalara yol açmasa da bu yaklaşımla elde edilecek ve hesaplamalarımızda esas teşkil edecek bir çok termodinamik özellik gerçek değerlerinden uzaklaşabilir ve bizi yanlış sonuçlara götürebilir. Bu noktada yapılacak şey işlem yükünü göz önüne alarak daha gerçekçi bir hal denklemi kullanmak ve tüm termodinamik özellikleri olabildiğince gerçekçi hesaplayabilmektir. Bu çalışmada geliştirilmiş bir gerçek gaz denklemi olan Lee-Kesler denkleminin modellenmesi ve bu modelleme sonucu oluşturulan Lee-Kesler sınıfının kullanılması üzerinde durulacaktır.

2. GERÇEK GAZ HAL DENKLEMLERİ

Lee-Kesler hal denkleminin geçmeden önce başka kullanabileceğimiz hangi gerçek gaz denklemleri olabileceğine bir göz atalım. Kullanım açısından çok önemli bir avantaj sağlayan bir grup hadenklemleri kübik hal denklemleri ailesini oluştururlar. Önce bu ailenin denklemlerine bir göz

atalım. Bu denklemlerin önemi kübik bir denklem oluşturabilmeleri ve dolayısıyla kübik polinomun çözüm kurallarıyla çözülebilmeleridir. Bu bize lineer olmıyan denklem sistemleri çözümüne göre bir avantaj sağlayabilir. Biz modelimizde kübik denklemleri başka bir sebep için daha kullanmak istiyoruz O da Eğer daha gerçek davranış gösteren bir hal denklemi kullanırsak lineer olmıyan denklem sistemi çözümleri için ilk değerleri oluşturacak bir ön çözüm sistemi elde etmektir.

Kübik Hal Denklemleri

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2 + ubV + \omega b^2} \quad (1)$$

(1) denkleminin bir başka ifadesi de şu şekildedir.

$$Z^3 - (1 + B^* - uB^*)Z^2 + (A^* + wB^{*2} - uB^* - uB^{*2})Z - A^*B^* - wB^{*2} - wB^{*3} = 0 \quad (2)$$

burada $A^* = \frac{aP}{R^2T^2}$ ve $B^* = \frac{bP}{RT}$ dir.

Kübik denklemler içinde en çok kullanılanları ; van der Waals , Redlich-Kwong (RK) ,Soave (SRK) , ve Peng-Robinson (PR) denklemleridir. Tüm bu denklemler aynı yapıya sahip olmalarına rağmen u , w , a , b , katsayılarının belirlenmesi açısından farklılık gösterirler.

Tablo 1. Kübik denklemler için katsayılar

Denklem	u	w	a	B
van der Waals	0	0	$\frac{RT_c}{8P_c}$	$\frac{27 R^2 T_c^2}{64 P_c}$
Redlich-Kwong	1	0	$\frac{0.08664 RT_c}{P_c}$	$\frac{0.42748 R^2 T_c^{2.5}}{P_c T_c^{1/2}}$
Soave	1	0	$\frac{0.08664 RT_c}{P_c}$	$\frac{0.42748 R^2 T_c^{2.5}}{P_c T_c^{1/2}} [1 + f_w(1 - T_r^{1/2})]^2$ Buradaki $f_w = 0.48 + 1.574w - 0.176w^2$
Peng-Robinson	2	-1	$\frac{0.07780 RT_c}{P_c}$	$\frac{0.45724 R^2 T_c^2}{P_c} [1 + f_w(1 - T_r^{1/2})]^2$ Buradaki $f_w = 0.37464 + 1.54226w - 0.26992w^2$

Genel Benedict-Webb-Rubin Denklemleri

Benedict-Webb-Rubin (BWR) denklemi kübik denklemlerden daha karışıktır ve geniş bir aralıkta daha doğru sonuçlar verir. Orijinal BWR denkleminin başarısı üzerine bu hal denklemi hakkında bir çok çalışma yapılmıştır. Bunların en önemlisi Lee ve Keesler tarafından geliştirilen modifiye edilmiş BWR denklemi olarak anılır. Bu denklem 3 parametrelilik bir yaklaşım kullanır. Gazın sıkıştırılabilirlik katsayısı $w=0$ olan basit akışkanlar, n -oktan referans akışkanından hesaplanır.

Bu yöntemde önce özelliği istenen akışkanın kritik sıcaklık ve basınç değerlerinden indirgenmiş sıcaklık ve basınç değerleri hesaplanır(Tr , Pr). Bu değerler kullanılarak basit akışkan için indirgenmiş hacim aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır.

$$\frac{P_r V_r^{(0)}}{T_r} = 1 + \frac{B}{V_r^{(0)}} + \frac{C}{(V_r^{(0)})^2} + \frac{D}{(V_r^{(0)})^5} + \frac{c_4}{T_r^3 (V_r^{(0)})^2} \left[\beta + \frac{\gamma}{(V_r^{(0)})^2} \right] \exp \left[-\frac{\gamma}{(V_r^{(0)})^2} \right] \quad (3)$$

$$B = b_1 - \frac{b_2}{T_r} - \frac{b_3}{T_r^2} - \frac{b_4}{T_r^3} \quad (3-a)$$

$$C = c_1 - \frac{c_2}{T_r} + \frac{c_3}{T_r^3} \quad (3-b)$$

$$D = d_1 - \frac{d_2}{T_r} \quad (3-c)$$

$$V_r^{(0)} = \frac{P_c V_c^{(0)}}{RT_c} \quad (3-d)$$

Basit akışkan için katsayılar Tablo 2 de verilmiştir. (3d) denklemden $V_r^{(0)}$ bulunduğundan sonra $Z^{(0)}$ aşağıdaki denklemden hesaplanır.

$$Z^{(0)} = \frac{P_r V_r^{(0)}}{T_r} \quad (4)$$

Aynı Tr ve Pr değerleri ile (3) ve (4) denklemleri kullanılarak bu kez referans n -oktan için $V_r^{(R)}$ ve bu değerden de $Z^{(R)}$ değeri hesaplanır.

$$\frac{P_r V_r^{(R)}}{T_r} = 1 + \frac{B}{V_r^{(R)}} + \frac{C}{(V_r^{(R)})^2} + \frac{D}{(V_r^{(R)})^5} + \frac{c_4}{T_r^3 (V_r^{(R)})^2} \left[\beta + \frac{\gamma}{(V_r^{(R)})^2} \right] \exp \left[-\frac{\gamma}{(V_r^{(R)})^2} \right] \quad (5)$$

$$Z^{(R)} = \frac{P_r V_r^{(R)}}{T_r} \quad (6)$$

Referans akışkan için katsayı değerleri Tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 2. Basit ve referans akışkan için katsayılar

Katsayılar	Basit akışkan	Referans akışkan
b_1	0.1181193	0.2026579
b_2	0.265728	0.331511
b_3	0.154790	0.027655
b_4	0.030323	0.203488
c_1	0.0236744	0.0313385
c_2	0.0186984	0.0503618
c_3	0.0	0.016901
c_4	0.042724	0.041577
$d_1 \times 10^4$	0.155488	0.48736
$d_2 \times 10^4$	0.623689	0.0740336
\square	0.65392	1.226
γ	0.060167	0.03754

Daha sonra hesaplanan bu sıkıştırılabilirlik oranlarında istenen gazın özellikleri aşağıdaki denklemden hesaplanır.

$$Z = Z^{(0)} + \left(\frac{\omega}{\omega_R} \right) (Z^{(R)} - Z^{(0)}) \quad (7)$$

Bu denklemden $\omega_R = 0.3978$ dir.

Bu şekilde elde edilen değerler sıvı ve gaz fazları için % 2 den az bir hata oranında olduğu görülmektedir[1].

Lee-Kesler Denklemlerinin Çözülmesi

(3) Denklemden doğru bir $V_r^{(0)}$ değerinin hesaplanabilmesi yöntemin başarısı için önemlidir. Bu denklem non lineer bir yapıya sahip olduğu için

buna uygun nümerik bir çözüm yöntemi kullanılmalıdır. Denenen çözüm yöntemleri içinde en iyi çözüm vereni Ridder yöntemidir. Ancak bu yöntem de tek başına her durumda yeterli olmamaktadır. Bu yüzden denklem çözülmeden tüm çözüm bölgesi daha küçük parçalara ayrılarak istenen $V_r^{(0)}$ köküne ulaşılabilir.

Lee-Kesler denklemide non lineer yapısı gereği birbirine yakın bölgelerde birden fazla köke sahip olmaktadır. Bu yüzden nümerik çözüm için uygun başlangıç değerinin seçilmesi gerekmektedir. Bunu için daha önce adı geçen kübik denklemlerden biri ilk yaklaşım olarak kullanılabilir. Böylece çözüme yaklaşık bir ilk değer tahmini yapılabilir. Bu denklemler içinde gerçeğe en yakın değerleri Peng–Robinson denklemi verdiği için bu ilk tahmine en uygun olanı bu denklemdir. Ayrıca kübik denklemlerin ilk yaklaşım olarak kullanılmasının bize sağladığı bir diğer avantaj da bu denklemin en büyük kökü bize gaz fazının sıkıştırılabilirlik oranının verirken en küçük kökü aynı oranı sıvı fazı için vermektedir.

3. GAZLARIN TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Hal denklemi ile gazın T , v , P üçlüsünden ikisi bilindiğinde diğerlerini belirleme imkanı sağlar. Ancak bir ısı sistemini tasarımı için bunun dışında termodinamik özelliklerinde hesaplanması gerekmektedir.

Gerçek Gazın Entalpisinin Hesaplanması

Gerçek gazın entalpi gazın basıncı ve sıcaklığına bağlıdır.

$$H = f(P, T) \quad (8)$$

$$dH = \left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_T dP + \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_P dT \quad (9)$$

$$H_2 - H_1 = \int_{P_1}^{P_2} \left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_{T_1} dP + \int_{T_1}^{T_2} \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_{P_2} dT \quad (10)$$

Burada sıcaklık T_1 de sabit tutulup H in P boyunca değişimi alınıp daha sonra sabit basınçta T_1 de T_2 değişimi sonucu H da bulunan değişim ile toplanır böylece iki sıcaklık basınç noktası arasındaki H değişimi hesaplanır. Bu H değişimi hesaplama yöntemlerinden biridir. Sonuçta entalpi değişimi yoldan bağımsız olduğu için daha farklı bir yol da takip edilebilir. Ancak gerçekte biz yüksek basınçtaki gazın c_p değerini her zaman bilemeyiz dolayısı ile düşük basınçta gazın ideal gaz

davranışına yaklaştığı bir basınç noktasına göre bir integral alırız. Bu basınç seviyesini P^0 olarak ifade edebiliriz.

$$\Delta H = \int_{P_1}^{P^0} \left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_{T_1} dP + \int_{T_1}^{T_2} C_p^0 dT + \int_{P^0}^{P_2} \left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_{T_2} dP \quad (11)$$

$$\Delta H = (H^0 - H_{P_1})_{T_1} + \int_{T_1}^{T_2} C_p^0 dT - (H^0 - H_{P_2})_{T_2} \quad (12)$$

Buradaki $(H^0 - H_{P_1})_{T_1}$ ve $(H^0 - H_{P_2})_{T_2}$ fonksiyonları sabit sıcaklık da basıncın etkisi ile gerçek gazın H da ideal gaza göre oluşan farkı ifade etmektedir. Bu fonksiyonların hesaplanması ile de gerçek gazın H değerine ulaşılabilir. Sapma (Departure) Fonksiyonları

İdeal gaz olduğu bilinen bir referans basıncına göre her bir özellik için alttaki integralleri hesaplayabiliriz

$$\begin{aligned} G - G^0 &= \int_{P^0}^P V dP + \int_0^P V dP \\ &= \int_0^P \left(V - \frac{RT}{P} \right) dP + RT \ln \left(\frac{P}{P^0} \right) \\ &= RT \int_0^P (Z - 1) d \ln P + RT \ln \left(\frac{P}{P^0} \right) \quad (13) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S - S^0 &= \frac{-\partial}{\partial T} (G - G^0)_P \\ &= R \int_0^P \left[1 - Z - T \left(\frac{\partial Z}{\partial T} \right)_P \right] d \ln P - R \ln \frac{P}{P^0} \quad (14) \end{aligned}$$

Bu iki integral de Z , T ve P birbirine Lee Kesler hal denklemi ile bağlıdır. Burada Z yerine bu bağıntıdan alınan eşitlik yerleştirilir ve gerekli integral ve türevler alınır ise gibbs serbest enerjisi ve entropi için gereken sapma fonksiyonları hesaplanmış olur. Bu iki termodinamik özellik belli olduğunda ise diğer termodinamik özelliklere geçiş yapılabilir.

$$H - H^0 = (G - G^0) + T(S - S^0) \quad (15)$$

$$U - U^0 = (G - G^0) + T(S - S^0) - RT(Z - 1) \quad (16)$$

ve son olarak helmholtz enerjisi sapma fonksiyonu :

$$A - A^0 = (G - G^0) - RT(Z - 1) \quad (17)$$

Burada integral analitik olarak alındığında entalpi sapma fonksiyonu şu şekilde elde edilir.

$$\left(\frac{H-H^0}{RT_c}\right)^{(0)} = -T_r \left[Z^{(0)} - 1 - \frac{b_2 + 2b_3/T_r + 3b_4/T_r^2}{T_r(V_r^{(0)})} \right] - T_r \left[\frac{c_2 - 3c_3/T_r^2}{2T_r(V_r^{(0)})^2} + \frac{d_2}{5T_r(V_r^{(0)})^5} + 3E \right]$$

$$E = \frac{c_4}{2T_r^3\gamma} \left\{ \beta + 1 - \left[\beta + 1 + \frac{\gamma}{(V_r^{(0)})^2} \right] \exp \left[-\frac{\gamma}{(V_r^{(0)})^2} \right] \right\} \quad (18)$$

Burada Lee Kesler hal denklemi için geliştirilen yöntem aynen uygulanırsa ilgilendiğimiz gaz için sapma fonksiyonu referans ve basit gazın sapma fonksiyonları üzerinden hesaplanabilir.

$$\frac{H-H^0}{RT_c} = \left(\frac{H-H^0}{RT_c}\right)^{(0)} + \frac{\omega}{\omega_r} \left[\left(\frac{H-H^0}{RT_c}\right)^{(R)} - \left(\frac{H-H^0}{RT_c}\right)^{(0)} \right] \quad (19)$$

Entropi içinde benzer şekilde;

$$\frac{S-S^0}{R} = \left(\frac{S-S^0}{R}\right)^{(0)} + \frac{\omega}{\omega_r} \left[\left(\frac{S-S^0}{R}\right)^{(R)} - \left(\frac{S-S^0}{R}\right)^{(0)} \right] \quad (20)$$

Denklemi yazılabilir.

4. GAZLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Isı değiştiriciler gibi ısı transfer yüzeylerin elde etmeye yönelik bir hesaplamada akışkanın termodinamik özellikleri yanında termodinamik özelliklerine de ihtiyaç olmaktadır. Bu özellikleri ideal gaz modelinde eğri uydurma yoluyla elde etmiştik. Ancak gerçek gaz modelinin faz değiştirmeyi de içermesinin yanı sıra basıncın etkisini hesaba katması gerekir. Bu sebeple Bu modellemede birçok hidrokarbon akışkan için geçerli olabilecek genel bağıntılar seçilerek sıvı ve katı akışkanlar için dinamik vizkozite , ısı iletim katsayısı , yüzey gerilim katsayısı değerleri elde edilmiştir. Bu denklemler řu şekilde özetlenebilir.

Sıvı ısı iletim katsayısı:

$$\lambda_L(T_b) = \frac{1.11 [3 + 20(1-T_r)^{2/3}]}{M^{1/2} [3 + 20(1-T_{br})^{2/3}]} \quad (21)$$

burada T_b o basınçtaki kaynama noktasını T_r indirmemiş sıcaklığı , T_{br} ise doyma sıcaklığının indirgenmiş sıcaklığını temsil etmektedir. Bu metod kaynama noktası metodu olarak tanımlanmaktadır.

Gaz ısı iletim Katsayısı : Chung metodu

$$\frac{\lambda M'}{\eta C_v} = \frac{3.75\Psi}{C_v/R} \quad (22)$$

M' : moleküler ağırlık , g/mol

η : düşük basınçdaki gaz vizkozitesi

$$\Psi = 1 + \alpha \{ [0.215 + 0.28288\alpha - 1.061\beta + 0.26665Z] / [0.6366 + \beta Z + 1.061\alpha\beta] \}$$

$$\alpha = (C_v/R) - 3/2$$

$$\beta = 0.7862 - 0.7109\omega + 1.3168\omega^2$$

$$Z = 2.0 + 10.5T_r^2$$

Düşük Basınc gaz vizkozitesi : Chung metodu

$$\eta = 40.785 \frac{F_c(MT)^{1/2}}{V_c^{2/3}\Omega_v}$$

$$\eta : \text{vizkozite, } \mu P \quad (23)$$

M : moleküler ağırlık , g/mol

V_c : kritik hacim

$$\Omega_c = [A(T^*)^{-B}] + C[\exp(-DT^*)] + E[\exp(-FT^*)]$$

$$T^* = 1.2593 \frac{T}{T_c}$$

(24)

$$A=1.16145 \quad B=0.14874 \quad C=0.52487 \quad D=0.77320 \quad E=2.16178 \quad F=2.43787$$

$$F_c = 1 - 0.2756\omega + 0.059035\mu_r^4 + \kappa$$

(κ değeri az sayıda madde için bilinmektedir. Ve bu maddeler dışında 0 alınmaktadır. Değeri 0.2 ile 0 arasında değişmektedir.)

$$\mu_r = 131.3 \frac{\mu}{(V_c T_c)^{1/2}}$$

μ : dipol moment , debyes

Sıvı Vizkozitesi : Przedziecki ve Sridhar metodu

$$\eta_L = \frac{V_0}{E(V - V_0)}$$

(24)

η_L : sıvı vizkozitesi , cP centi Poise

V : molar hacim cm^3/mol

$$E = -1.12 + \frac{V_c}{12.94 + 0.10M - 0.23P_c + 0.0424T_f - 11.58(T_f/T_c)}$$

$$V_0 = 0.0085\omega T_c - 2.02 + \frac{V_m}{0.342(T_f/T_c) + 0.894}$$

T_f : donma noktası , K

ω : eksentrik faktörü

V_m : T_f de sıvı molar hacmi

Bu denklemde V_m değerini bulmak her zaman mümkün olmamaktadır. Bu sorunu aşmak için Gunn-Yamada metodunu kullanmak uygun olmaktadır. Bu metod da bilinen bir V değerinden yola çıkarak T_f deki molar hacim değeri saptanabilir.

$$V(T) = \frac{f(T)}{f(T^R)} V^R$$

$$f(T) = H_1(1 - \omega H_2)$$

$$H_1 = 0.33593 - 0.33953T_r + 1.51941T_r^2 - 2.02512T_r^3 + 1.11422T_r^4 \text{ kJ/mol gibbs serbest enerjisi}$$

$$H_2 = 0.29607 - 0.09045T_r - 0.04842T_r^2 V^R$$

olarak kullanabileceğimiz iyi bir yaklaşımla tespit edilmiş referans bir hacim değerini kullanarak V^R değerini hesaplamak doğru sonuçlar vermektedir.

Yüzey gerilim Katsayısı:

$$\sigma = P_c^{2/3} T_c^{1/3} (0.132\alpha_c - 0.279)(1 - T_r)^{11/9}$$

$$\alpha_c = 0.9076 \left[1 + \frac{T_{br} \ln(P_c / 1.01325)}{1 - T_{br}} \right]$$

σ : yüzey gerilim katsayısı , dyn/cm

T_{br} : indirgenmiş kaynama sıcaklığı , K

3. BİLGİSAYAR SİMULASYON PROGRAMLARI

Burada verilen temel modelleme bileşenleri kullanılarak çeşitli bilgisayar programları java programlama dili kullanılarak oluşturulmuştur. Bu programlardan bazıları:

LeeKesler.java : Lee Kesler hal denklemi programı
LeeKeslerMix.java: LeeKesler hal denkleminin gaz karışımlarına uydurulmuş şekli, bu programla dizel gibi ideal gaz olmıyan gerçek gaz karışımlarının termodinamik özelliklerini ve kaynama prosesini irdeleyebiliriz. LeeKesler programını kendi programımızda çağırmak için

LeeKesler x=new LeeKesler("n-amylformate");
Formatında bir nesne yaratmamız gereklidir. LeeKesler sınıfı RealGas.txt isimli bir dosyadan kimyasal madde ile ilgili temel verileri okur. LeeKesler sınıfında istenen gazı çeren nesne yaratıldıktan sonra termodinamik ve termofiziksel özellikleri

Double a[]=x.property_SI(bilinençift ,iv1,iv2);
Şeklinde çağrılabilir. Buradaki bilinençift değişkeni iki bilinen termodinamik çifti içerir. Programın şu şekliyle kabul ettiği çiftler :

tp,tv,,th,tx,ts,vp,ph,ps (t sıcaklık K , p basınç bar , v özgül hacim m³/kmol , h entalpi kJ/kmol , s entropi kJ/kmolK)

iv1 ve iv2 iki girdi çifti olup bilinen çift değişkeninde verilen sıraya ve değerlere göre değr alırlar. Örneğin Azot için sıcaklık ve basınç değerleri verilmişse

LeeKesler x=new LeeKesler("NO");

double T=300;

double P=1.01325;

double a[]=x.property_SI("tv" ,T,P);

şeklinde çağırabiliriz. Burada a boyutlu değişkeni şu değerleri taşıyacaktır:

- a[0]=P bar basınç
- a[1]=T K sıcaklık
- a[2]=v m³/kmol özgül hacim
- a[3]=h kJ/kmol entalpi
- a[4]=u kJ/kmol iç enerji
- a[5]=s kJ/kmolK entropi
- a[6]=x kurulum derecesi
- a[7]=z termodinamik bölge (sıvı, gaz..)
- a[8]=Z sıkıştırılabilirlik faktörü

Şekil 1 de bu program için geliştirdiğimiz bir insan arayüzü görülmektedir.

Gazlar her zaman saf formda kullanılmazlar çoğu zaman diğer gazlarla karışım oluşturlar. Bu durumda modellememizi yapabilmek için LeeKesler sınıfı gazları karıştıran LeeKeslerMix sınıfı oluşturulmuştur. Bu sınıfı Kullanabilmek için karışım yüzdelerini RealGasMix.txt dosyasına yazmamız gerekir. Örneğin

test8

5

H2O 54.8904

H2 2.6086

N2 14.290

CO 0.43922

CO2 12.5078

Property	Value	Units
P, pressure	1.0135	bars
T, temperature	300.29999999999995	deg K
v, specific volume	24.59494988525081	m ³ /kmole
h, enthalpy	788.348020590734	KJ/kmole
u, internal energy	-1704.3501502794356	KJ/kmole
s, entropy	186.31546296899876	KJ/kmole K
x,	1.0	
zone name	supercritical fluid	
Compressibility factor	0.9983394322798574	
g, gibbs free energy	-55162.18550899959	KJ/kmole
s, surface tension	0.0	N/m
cp, specific heat constant v	35.77216308271621	KJ/kmole K
cv, specific heat constant v	27.420616697876692	KJ/kmole K
M, molecular weight	16.043	kg/kmole
kv, vapour conductivity	0.03373560152367991	W/(m.K)
mu, vapour viscosity	1.1111654222025618E-5	Pa.s

Şekil 1. LeeKesler sınıfı insan arayüzü programı LKTable

Buradaki ilk satır gaz karışımının ismini vermektedir. İkinci satır gaz karışımındaki gaz sayısıdır. Üçüncü satır gazın ismini veya fomülünü (Tablo 4 de verilen gazlar olmak zorundadır, eğer gazın listede yoksa gerekli verilerle birlikte RealGas.txt e ilave edilmesi gerekir.) ve mol sayısını (veya yüzdesini) içermektedir. Gaz karışımı çağrılırken verilen isim kullanılır.

LeeKeslerMix

LK1=new

LeeKeslerMix("test8");

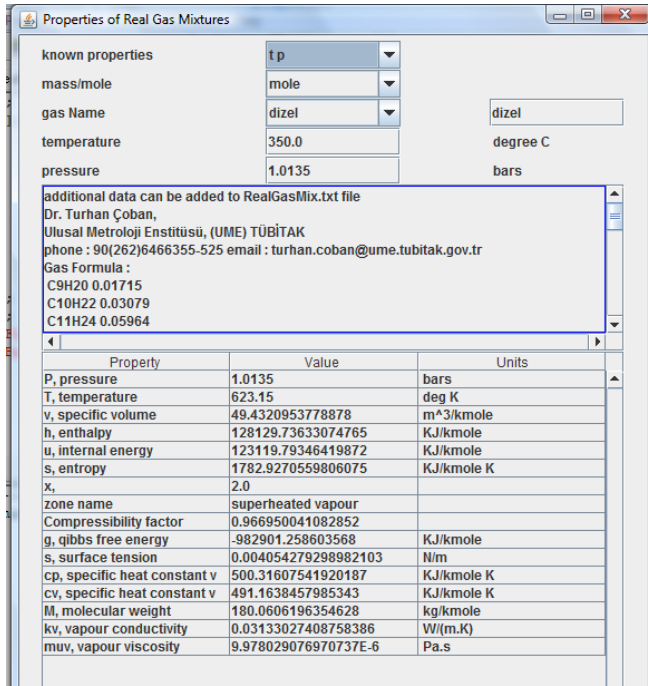
LeeKeslerMix sınıfında istenen gazı veren nesne yaratıldıktan sonra termodinamik ve termofiziksel özellikleri

double cikti[]=LK1.property_SI(bilinençift ,iv1,iv2);

Şeklinde çağrılabilir. Buradaki bilinençift değişkeni iki bilinen termodinamik çifti içerir. Tanımı tam

olarak LeeKesler sınıfında verdiğimiz tanımın aynıdır. LeeKeslerMix sınıfı için insan arayüzü programı olarak LKTable programı oluşturulmuştur. Bu programın çıktısı şekil 2 de görülmektedir.

Çoban, Katı Oksitli Yakıt Pillerinin Modellenmesi, IV. Ege Enerji sempozyumu, 21-23 Mayıs 2008, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir



Property	Value	Units
P, pressure	1.0135	bars
T, temperature	623.15	deg K
v, specific volume	49.4320953778878	m ³ /kmole
h, enthalpy	128129.73633074765	KJ/kmole
u, internal energy	123119.79346419872	KJ/kmole
s, entropy	1782.9270559806075	KJ/kmole K
x _i	2.0	
zone name	superheated vapour	
Compressibility factor	0.966950041082852	
g, gibbs free energy	-982901.258603568	KJ/kmole
s, surface tension	0.004054279298882103	N/m
cp, specific heat constant v	500.31607541920187	KJ/kmole K
cv, specific heat constant v	491.1638457985343	KJ/kmole K
M, molecular weight	180.0606196354628	kg/kmole
kv, vapour conductivity	0.03133027408758386	W/(m.K)
muv, vapour viscosity	9.978029076970737E-6	Pa.s

Şekil 2. LeeKeslerMix sınıfı insan arayüzü programı LKMixTable

KAYNAKLAR

Çoban, T. 2008. Java Programlama Dili Örnekleriyle Sayısal Çözümleme. Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü. İzmir. 821 s. ISBN 978-975-27-200-3.

Robert C. Reid , John M. Prausnitz, Bruce E. Poling; The Properties of Gases & Liquids , Mc-Graw Hill, ISBN 0-07-051799-1

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

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

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

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

M. Turhan Çoban, Nemli havanın termodinamik özelliklerinin modellenmesi, 24-26 Mayıs 2006, III. Ege Enerji Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Muğla Üniversitesi, Muğla, sayfa 397-405M. Turhan