

---

# NEMLİ HAVANIN HAVANIN TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN MODELLENMESİ

YARD. DOÇ. DR. M. TURHAN ÇOBAN

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi  
Makine Mühendisliği Bölümü  
[turhan.coban@ege.edu.tr](mailto:turhan.coban@ege.edu.tr)

## ÖZET

Su buharının termodinamik özelliklerini irdeleyen steam.java programı, ideal gazların termodinamik özelliklerini hesaplayan idealgaz.java programı, bu iki programı kullanarak yaş havanın termodinamik özelliklerini hesaplayan yashava.java programı geliştirilmiş ve kullanıcı arayüzleriyle birlikte sunulmuştur. Bu programların oluşturulmasında kullanılan temel denklemler, programların oluşturulması ve kullanılmasına dair temel bilgiler makalede sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** psikometri, nemli hava, ısıtma havalandırma, enerji, su buharı

## 1. Giriş

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 su buharının ve havanın termodinamik özelliklerinin oluşturulması ve bu gazların termodinamik özelliklerinden yola çıkarak su buharı kuru hava karışımı olan nemli havanın özelliklerinin hesaplanma yöntemlerini inceleyeceğiz. Bu makalede irdelenen nemli havanın termodinamik özellikleri aslında tek başına bir program olmayıp, çeşitli akışkanların termodinamik ve termo-fiziksel özelliklerinin irdelendiği daha sonra çeşitli proseslerin sayısal irdelenmesi için bir ortam oluşturacak olan bir çalışmanın ilk basamaklarından biridir. Java dilinde geliştirilen bu ısı sistem analiz paketi, isteyen tüm araştırmacılarımızın kullanımını için açık olacaktır.

Nemli havanın termodinamik özelliklerini irdelemek için önce su buharının termodinamik özellikleri ve kuru havanın termodinamik özelliklerinin nasıl hesaplanacağını irdelenmesi gereklidir. Yaş hava (kuru havayı saf gaz kabul edersek), kuru hava ve su buharı karışımından oluşan bir gaz karışımıdır. Bu yüzden önce kuru havanın ve su buharının termodinamik özelliklerinin irdelenmesine göz atalım.

## 2. Kuru Havanın Termodinamik Özelliklerinin Hesaplanması

Kuru hava termodinamik denklemlerini oluştururken kuru havanın ideal gaz olduğunu varsayacağız. Bu kavram çok düşük sıcaklıklara inmediğimiz durumlar için genelde doğru kabul edilebilir. Çok soğuk uygulamalarına geçildiğinde ise kabul doğru değildir, ancak zaten bu sıcaklıklarda su buharının kısmi basıncı neredeyse yok sayılacağından havayı tamamen kuru kabul edebiliriz. Kuru hava için bir çok modelde havanın özgül ısısının sabit olduğu kabulü yapılır. Burada hava özgül ısının sıcaklığın fonksiyonu olarak değiştiği ancak basınç veya yoğunluğun fonksiyonu olarak değişmediğini varsayacağız (ideal gaz varsayımı). Ayrıca özgül ısı kısmi devamlı denklemler olarak verilecektir. Bunun sebebi hava entalpi denkleminin tablolarda verilen denklemlerle daha uyumlu olmasının sağlanmasıdır. Kuru hava özgül ısı denklemi :

$$C_{p_i}(T) = A_i + B_i \cdot 10^{-3} \cdot T + C_i \cdot 10^5 / T^2 + D_i \cdot 10^{-6} \cdot T^2 \quad T_{Li} \leq T < T_{Hi} \quad \text{KJ/kmol K} \quad (1)$$

Şeklinde tanımlanmıştır. Buradaki  $A_i$ ,  $B_i$ ,  $C_i$ , ve  $D_i$  denklemin  $T_{Li}$  ve  $T_{Hi}$  sıcaklık bölgesinde geçerli olan denkleminin katsayılarıdır. Çeşitli sıcaklık aralıkları için çeşitli katsayılar tanımlanabilir. Bu katsayılar gerçek tablo değerlerinden eğri uydurma yöntemleri yardımıyla elde edilirler. Eğri uydurmada en küçük kareler yöntemi genelde en yaygın olan yöntemdir. Bu yöntemde ölçümlerden elde edilen değerler ile fonksiyonun aynı noktalarda verdiği değerlerin farkının karelerinin toplam fonksiyonu minimize edilir. Burada verilen özgül ısı denklemi doğrusal olmayan bir eşitlik olduğundan minimize işleminin de doğrusal olmayan bir teknikte

yapılması gerekir. Bu tür denklemlerin çözümlerinde Nelder-Mead, en dik eğim metodu gibi geometriksel ve genetik algoritmalar gibi geometrik olmayan metotlar mevcuttur. Doğrusal olmayan denklemlerin minimizasyonu oldukça geniş bir konu olduğundan buna daha sonra bir yazımızda değinebiliriz. Hava için kullanılan katsayılar tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Hava için özgül ısı kısmi devamlı denklemin, n katsayıları

A <sub>i</sub> KJ/kmol K	B <sub>i</sub> 10 <sup>3</sup> *KJ/(kmolK <sup>2</sup> )	C <sub>i</sub> 10 <sup>-5</sup> KJ K/kmol	D <sub>i</sub> 10 <sup>6</sup> *KJ/(kmolK <sup>2</sup> )	T <sub>Li</sub> K	T <sub>Hi</sub> K
29.04716131384	-0.43371335025	-0.00000234324	1.81771922391	298	300
27.20780497541	2.82769845957	0.65953188644	3.73015894390	300	700
23.15288750543	13.57204518133	1.77125763993	-3.86191395226	700	1200
32.62636562076	2.90565403695	-21.59492884110	-0.42617207916	1200	2000
34.28187299595	1.66394564405	-30.46167281155	-0.16319414802	2000	3000
40.90907696143	-0.88928617682	-166.78890105869	0.11814251617	3000	6000

Bu sayıların elde edilmesinde kullanılan minimizasyon prosesinde Nelder-Mead tekniği kullanılmış ve tablo değerleri özgül ısı denkleminin integrasyonundan oluşan entalpi denkleminde alınmıştır. Entalpi denklemini denklem 2 de verildiği gibidir ve denklem 1 in integrasyonundan oluşur. Cp<sub>i</sub> denklemini kısmi devamlı olduğu için toplam entalpi integrasyonun yanında kısmi devamlı bölgelerin entalpilerinin toplamından oluşur.

$$h(T) = h_0 + \left( \sum_{i=1}^{N-1} \int_{T_{Li}}^{T_{Hi}} Cp_i(T) \cdot dT \right) + \int_{T_{Li}}^T Cp_i(T) dT \quad (2)$$

bu denklemdaki h<sub>0</sub> entalpi sabiti referans değer olarak alınan 298 K noktasındaki entalpi olup değeri h<sub>0</sub>=8636.3959339 KJ/kmol olarak alınmıştır. Entropi formülü de entalpi formülünden çıkarılabilir

Özellik	Değer	Birim
P, basınç	1.0	bar
T, sıcaklık	300.0	derece K
v, özgül hacim	24.9435	m <sup>3</sup> /kmole
h, entalpi	8694.555903746574	KJ/kmole
u, iç enerji	6200.205903746573	KJ/kmole
s, entropi	49.295708989527505	KJ/kmole K
g, gibbs serbest enerjisi	-6094.156793111677	KJ/kmole
h, kimyasal toplam entalpi	59.159069048571431	KJ/kmole
g, kimyasal gibbs serbes...	59644.13877566509	KJ/kmole
Cp, sabit basınçta özgül ısı	29.08063943531986	KJ/kmole K
Cv, sabit hacimde özgül ısı	20.766139435319857	KJ/kmole K
k=Cp/Cv, adyabatik sabit	1.4003873722362847	
c, ses hızı	347.27381828134065	m/s
viskozite	1.84468934769573E-5	Ns/m <sup>2</sup>
ısıl iletim katsayısı	0.026259633891830104	W/m K
M, moleküler ağırlık	28.964197988240002	kg/kmol
Prandtl sayısı	0.7053087761052046	
Pr, indirgenmiş basınç	1.3879697650203369	
w, indirgenmiş hacim	620.4630081072115	

Şekil 1 Gasl.java arayüz programı

Özellik	Değer	Birim
Sıcaklık	100.0	derece C
buhar doygunluk derecesi	1.0	kg buhar/kg karışım.
P, Basınç	1.0134320120674924	bar
T, Sıcaklık	100.0	derece C
v, Özgül hacim	1.6729971857030028	m <sup>3</sup> /kg
h, entalpi	2676.060482066215	KJ/kg
u, İç Enerji	2506.5135916571903	KJ/kg
s, entropi	7.354878934996293	KJ/kg
x, buhar doygunluk derecesi	1.0	kg buhar/kg
yoğunluk	0.597768447279107	kg/m <sup>3</sup>
Faz	Doymuş Buhar	

Şekil 2 buhar.jar arayüz programı

$$s(T, P) = s_0 + \left( \sum_{i=1}^{N-1} \int_{T_{Li}}^{T_{Hi}} \frac{Cp_i(T)}{T} \cdot dT \right) + \int_{T_{Li}}^T \frac{Cp_i(T)}{T} dT + R \ln \frac{P}{P_0} \quad (3)$$

buradaki s<sub>0</sub>=49.101193319821995 KJ/kmolK dir. Referans basınç P<sub>0</sub>=1 bar olarak alınmıştır. Havanın formülü O<sub>0.419642</sub>N<sub>1.561756</sub>Ar<sub>0.009301</sub>C<sub>0.0003</sub> olarak alınmıştır ve bu formülle havanın moleküler ağırlığını M=28.964197 kg/kmol olarak hesaplar. Entalpi ve entropi değerleri M değeri kullanılarak KJ/kg bazına dönüştürülür.

Havanın entalpisinin 6000 K'e kadar varan bir bölge için hesaplanmış olması yaş hava uygulamaları için gereksiz görünebilir. Ancak belirtilen denklemler sadece yaş hava uygulamaları için geliştirilmemiştir, havanın kullanıldığı her yerde geçerlidirler. Hatta sadece hava için değil değişik katsayıların kullanımıyla tüm ideal gazlar için kullanılan denklemlerdir. Bu denklem sisteminin programlaması da çeşitli gazları hesaplayabilecek şekilde oluşturulmuştur. Genel sınıf gaz.java içinde çok sayıda gazın katsayılar matrisini barındırır ve gereğinde hesaplar. "gaz" sınıfı hesaplarının sonuçlarını görebilmek için idealgazTablosu.java isimli bir program kullanıcı arayüzü programı hazırlanmıştır, bu program kullanılarak hava veya diğer gazların termodinamik özellikleri yukarıda belirtilen denklemler yardımıyla hesaplanabilir. Bu programın çıktısını şekil 1 de görmekteyiz. Programı ve tam program kodlarını [www.axtelssoft.com/turhan.coban](http://www.axtelssoft.com/turhan.coban) adresinden alabilirsiniz. veya yukarıdaki e-mektup adresinden isteyebilirsiniz.

### 3. Su Buharının Termodinamik Özellikleri

Su buharının termodinamik özelliklerinin hesaplanmasında J.H. Keenan, F.G. Keyes, P.G. Hill and J.G. Moore tarafından verilen [referans 1] denklemler kullanılmıştır. Su buharı için bazı yaş havanın bazı hesaplarında ideal gaz kabulü yapılıyorsa da burada su buharı gerçek gaz olarak kabul edilmiştir. Gerçek gazlar genelde hal denklemleri denem ve P(T,v) şeklinde ifade edilebilecek kompleks denklem sistemleriyle ifade edilirler. Burada P basınç, T sıcaklık ve v özgül hacim ifade etmektedir. Keenan, Keyes, Hill ve Moore denkleminde hal denklemi Helmholtz serbest enerjisi ( $\Psi$ ) formunda verilmiştir.

$$\Psi(T, \rho) = \Psi_0(T) + RT(\ln(\rho) + \rho Q(\rho, \tau)) \quad (4)$$

$$\Psi_0(T) = \sum_{i=1}^6 C_i/\tau^{i-1} + C_7 \ln T + C_8 \ln T/\tau \quad (4a)$$

$$Q(\rho, \tau) = (\tau - \tau_c)^{j-1} (\tau - \tau_{aj})^{j-2} \left[ \sum_{i=1}^7 A_{ij}(\rho - \rho_{aj})^{i-1} + e^{E_p} \sum_{i=1}^8 A_{ij} \rho^{i-9} \right] \quad (4b)$$

Bu denklemde  $\tau=1000/T$ , T K cinsinden sıcaklık değeridir,  $R=4.6151 \text{ barcm}^3/\text{gramK}$  gaz sabitidir.  $A_{ij}$  ve  $C_i$  ve  $E = 4.8$  denklem sabitleridir.  $\rho$  yoğunluk değeridir. A sabitinin değerleri Tablo 2 de verilmiştir  $\tau_{aj}$  ve  $\rho_{aj}$  tanımları

$$\begin{aligned} j=1 \text{ için } \tau_{aj} &= \tau_c = 1000/T_c & \rho_{aj} &= 0.634 & (T_c \text{ kritik sıcaklık}) \\ j>1 \text{ için } \tau_{aj} &= 2.5 & \rho_{aj} &= 1.0 & \text{şeklinde verilmiştir.} \end{aligned}$$

Tablo 2 : Su buharı Helmholtz serbest enerjisi hal denklemi  $\Psi(T, \rho)$  katsayıları

$A_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7
1	29.492937	-5.198586	6.833535	-0.156410	-6.397241	-3.966140	-0.690486
2	-132.139170	7.777918	-26.149751	-0.725461	26.409282	15.453061	2.740742
3	274.646320	-33.301902	65.326396	-9.273429	-47.740374	-29.142470	-5.102807
4	-360.938280	-16.254622	-26.181978	4.312584	56.323130	29.568796	3.963609
5	342.184310	-177.310740	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	-244.500420	127.487420	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	155.185350	137.461530	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	5.972849	155.978360	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
9	-410.308480	337.311800	-137.466180	6.787498	136.873170	79.847970	13.041253
10	-416.058600	-209.888660	-733.968480	10.401717	645.818800	399.175700	71.531353

$\Psi_0(T)$  denkleminde geçen C katsayıları ise Tablo 3 de verilmiştir.

Tablo 3 : Su buharı Helmholtz serbest enerjisi hal denklemi  $\Psi(T, \rho)$  katsayıları

i	$C_i$	i	$C_i$
1	1857.065	5	-20.5516
2	3229.12	6	4.85233
3	-419.465	7	46.0
4	36.6649	8	-1011.249

Bu fonksiyonun klasik P(T,v) formülüne göre avantajı termodinamik fonksiyonların sırf türevler cinsinden ifade edilmesidir. P(T,v) formundaki hal denklemleri ise integrallere de gerek duyarlar. Türevlerin hesaplanması integrallere göre daha kolaydır. Türevler cinsinden termodinamik fonksiyonlar şu şekilde tanımlanmıştır:

$$P = \rho^2 (\delta\psi / \delta\rho)_\tau \quad (5a)$$

$$u = [\delta(\psi\tau) / \delta\tau]_\rho \quad (5b)$$

$$s = -(\delta\psi / \delta T)_\rho \quad (5c)$$

$$h = u + Pv \quad (5d)$$

bu fonksiyonlardaki türev işlemleri açılacak olursa

$$P = \rho RT [1 + \rho Q + \rho^2 (\delta Q / \delta\rho)_\tau] \quad (6a)$$

$$u = \rho RT \tau (\delta Q / \delta\tau) + \delta(\psi_0\tau) / \delta\tau \quad (6b)$$

$$s = -R [\ln\rho + \rho Q - \rho\tau (\delta Q / \delta\tau)_\rho - (\delta\psi_0 / \delta T)] \quad (6c)$$

$$h = RT [\rho\tau (\delta Q / \delta\tau)_\rho + 1 + \rho Q + \rho^2 (\delta Q / \delta\rho)_\tau] + \delta(\psi_0\tau) / \delta\tau \quad (6d)$$

Doymuş su buharı basınç sıcaklık ilişkisi (kaynama eğrisi) aşağıdaki bağıntıyla aynı kaynakta verilmiştir.:

$$P_s = P_c \cdot \exp[\tau 10^{-5} (T_c - T)] \sum_{i=1}^8 F_i (0.65 - 0.01T)^{i-1} \quad (7)$$

Buradaki  $F_i$  katsayıları sabittir ve tablo 4 de verilmiştir.  $T_c$  and  $P_c$  kritik basınç ve sıcaklık değerlerini ifade eder.

Tablo 4 : su buharı buhar doyma eğrisi katsayıları

i	$F_i$	i	$F_i$	i	$F_i$	i	$F_i$
1	-741.9242	3	-11.55286	5	0.1094098	7	0.2520658
2	-29.721	4	-0.8685635	6	0.439993	8	0.05218684

Bu denklemleri bilgisayar programlarına adapte ederken bilinmeyen setinin sadece T ve v nin fonksiyonu olmayacağı da göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin h(T,p) gibi bir bilinmeyen veya denklem 7 kullanılarak T( $P_s$ ) doyma noktası sıcaklığı fonksiyonunun çözümü gibi bir problem karşımıza çıkabilir. Bu tür işlemlerle karşılaştığımızda doğrusal olmayan denklemler, nümerik kök bulma işlemleri karşımıza çıkar. Kök bulma işlemleri Taylor formülünden elde edilen yöntemler ve arama yöntemleri veya bunların kombinasyonlarından oluşur. Taylor formülü kökenli yöntemlerden Newton-Raphson metodu bu tür kök bulma algoritmalarının en bilinenidir. Belli bir tahmin noktasından başlayarak

$$x_{i+1} = x_i - f(x_i) / [\delta f(x_i) / \delta x]$$

formülünü kullanır. İterasyon  $f(x)$  fonksiyonu isteyen küçüklüğe ulaşmaya kadar devam eder. Bu formülde  $x_{i+1}$  bilinmeyen kök değeri için  $(i+1)$ inci iterasyon,  $f(x_i)$  fonksiyonun  $x_i$  noktasındaki değeri,  $[\delta f(x_i)/\delta x]$  fonksiyonun  $x_i$  noktasındaki türevinin değeridir. Bir basit arama metodu olan iki bölge metodu bölgeyi ikiye böler ve kökün hangi bölgede olduğuna bakarak aramaya devam eder. Etkili diğer bir arama kökenli kök bulma yöntemi de iki nokta arasında lineer interpolasyonla bir sonraki kök yaklaşımını bulan giriş yöntemidir. Bunların dışında secant metodu, Ridder metodu, Van Wijngaarden-Dekker Brent metodu gibi çeşitli kök bulma metodları mevcuttur ve bu denklemlerimizin çözümlerinde yoğun olarak yararlanılmıştır. Tüm bu değişik metodların kullanılması, kök bulmanın kompleks bir işlem olmasından kaynaklanmaktadır, bazı metodlar kısa sürede çözüm getirir ama her zaman çözüme ulaşamaz (Newton metodu gibi), bazı metodlarda her zaman çözüme ulaşır fakat iterasyon prosesi çok zaman alır (iki bölge metodu gibi). Bu yüzden belli bir proses için seçilecek metod önem taşır.

Yukarıda tanımlanan temel denklemler kullanılarak su buharının termodinamik özelliklerini hesaplayan steam.java programı geliştirilmiştir. Bu programın kullanıcı arayüzü olarak geliştirilen steamTableT.java programı steam.java programını kullanarak buharın termodinamik özelliklerini hesaplamaktadır. Bu programa da yukarıda belirttiğimiz [www.axtelsoft.com/turhan.coban](http://www.axtelsoft.com/turhan.coban) adresinden ulaşabilirsiniz. Program arayüzü şekil 2 de gösterilmiştir.

#### 4. Nemli Havanın Termodinamik Özellikleri

Kuru hava ve su buharının özelliklerinin hesap yöntemlerine bir göz attık. Şimdi bu programları yaş havanın termodinamik özelliklerini hesaplayacak şekilde bir araya getirelim. Yaş havanın temel termodinamik karışım denklemleri aslında her termodinamik kitabında yer alır ve makine mühendisliği eğitiminde sıkça ısıtma-havalandırma gibi çeşitli derslerinde de kullanılır. Karışım yasalarının temeli iki gazın birlikte bulduklarında kısmi basınçlarının toplam basıncı oluşturması ilkesine dayanır:

$$P = P_{\text{kuru hava}} + P_{\text{su buharı}} \quad (8)$$

Gazların kütlelerinin toplamı da toplam gaz kütlelerini oluşturur:

$$m = m_{\text{kuru hava}} + m_{\text{su buharı}} \quad (9)$$

Su buharı kütlelerinin kuru hava kütlelerine oranı özgül nem olarak adlandırılır:

$$w = m_{\text{su buharı}} / m_{\text{kuru hava}} \quad (10)$$

Özgül nemin değeri bu iki bağıntı ve karışımındaki her iki gazın da ideal gaz olduğu kabulü ile hesaplanabilir. Gazların aynı hacmi işgal ettikleri göz önüne alınırsa:

$$P_{\text{kuru hava}} V = m_{\text{kuru hava}} * (R/M_{\text{kuru hava}}) T \quad (11a)$$

$$P_{\text{su buharı}} V = m_{\text{su buharı}} * (R/M_{\text{su buharı}}) T \quad (11b)$$

Burada P basınç, m kütle, T Kelvin cinsinden sıcaklık değeridir. 8 eşitlikleri 7 de yerine konursa

$$w = \{P_{\text{su buharı}} V / [(1/M_{\text{su buharı}}) T]\} / \{P_{\text{kuru hava}} / [m_{\text{kuru hava}} * (1/M_{\text{kuru hava}})]\} \quad (12)$$

$$w = (M_{\text{su buharı}}/M_{\text{kuru hava}}) P_{\text{su buharı}} / P_{\text{kuru hava}} = (M_{\text{su buharı}}/M_{\text{kuru hava}}) P_{\text{su buharı}} / (P - P_{\text{su buharı}}) \quad (13)$$

bağıntısı elde edilir. Su buharının kısmi basıncı ve toplam basınç biliniyorsa havadaki nem miktarı hesaplanabilir. Denklemdaki molar kütle oranı  $(M_{\text{su buharı}}/M_{\text{kuru hava}}) = (18.016/28.964197) = 0.6220093$  sayısına eşittir

Yaş hava hesaplarında kullanılan diğer bir kavram da bağıl nem kavramıdır. Bağıl nem su buharı molar yüzdesinin aynı sıcaklıktaki doymuş su buharı molar yüzdesine oranıdır.

$$\Phi = X_{\text{su buharı}}/X_{\text{doymuş su buharı}} = P_{\text{su buharı}}/P_{\text{doymuş su buharı}} \quad (14)$$

Benzer bir kavramda doyma yüzdesidir. su buharı kütleli yüzdesinin aynı sıcaklıktaki doymuş su buharı kütleli yüzdesine oranıdır.

$$\mu = m_{\text{su buharı}}/m_{\text{doymuş su buharı}} = w_{\text{su buharı}}/w_{\text{doymuş su buharı}} \quad (15)$$

Yaş havanın entalpisi de kuru hava ve su buharının entalpilerinden hesaplanır.

$$H = m_{\text{kuru hava}} * h_{\text{kuru hava}} + m_{\text{su buharı}} * h_{\text{su buharı}} \quad (16)$$

$$H = H / m_{\text{kuru hava}} = h_{\text{kuru hava}} + (m_{\text{su buharı}} / m_{\text{kuru hava}}) h_{\text{su buharı}} = h_{\text{kuru hava}} + w h_{\text{su buharı}} \quad (16a)$$

Entropi fonksiyonu da aynı şekilde hesaplanır.

$$S = m_{\text{kuru hava}} * S_{\text{kuru hava}} + m_{\text{su buharı}} * S_{\text{su buharı}} \quad (16)$$

$$s = S / m_{\text{kuru hava}} = S_{\text{kuru hava}} + (m_{\text{su buharı}} / m_{\text{kuru hava}}) S_{\text{su buharı}} = S_{\text{kuru hava}} + w S_{\text{su buharı}} \quad (16a)$$

Yaş hava için kullandığımız diğer bir kavram da adyabatik doyma sıcaklığıdır. Hava sonsuz uzunlukta tamamen izole edilmiş su ile dolu bir kanaldan geçirilirken doyma noktasına ulaşır. Doyma noktasına ulaşmış suyun sıcaklığında yaş havanın sıcaklığına adyabatik doyma sıcaklığı adı verilir.

Termodinamik ideal bir kavramdır. Enerji dengesinden hesaplanabilir. Giren havanın enerjisi+ buharlaşan suyun enerjisi = doymuş havanın enerjisi olduğundan

$$h+(w^* - w)h_{su}^* = h^* \quad (17)$$

burada h: kanala giren yaş havanın entalpisi,  $h^*$ : doymuş yaş havanın entalpisi,  $h_{su}^*$ : kanalda bulunan ve bir kısmı sıvılaştıran suyun entalpisi ve  $w^*$  ise doymuş yaş havanın entalpisidir. Bu denklemin çözümü bize  $T^*$  adyabatik doyma sıcaklığını verir. Adyabatik doyma sıcaklığı termodinamik yaş termometre sıcaklığı olarak da anılır. Termodinamik yaş termometre sıcaklığının yaş bir termometrede ölçülen sıcaklıktan farklı olduğunu burada belirtelim. Gerçek termometrenin okuduğu değer ısı transferine bağlı olarak termodinamik yaş termometre sıcaklığından sapacaktır.

Yaş havayla ilgili tanımlanması gereken son özellikte çığ noktası sıcaklığıdır. Yaş havanın basıncını değiştirmeden sıcaklığını düşürdüğümüzde aynı basınç altında yoğuşmanın başladığı sıcaklık olarak tanımlıyabiliriz. Verilen kısmi basınç için su buharı yoğuşma sıcaklığına eşittir.

Yukarıda belirtilen denklemler kullanılarak yashava.java programı geliştirilmiştir. Bu program yardımıyla iki termodinamik veri verildiğinde diğer termodinamik değişkenlerin hesaplanması mümkündür. Programda verilebilecek termodinamik veri çiftleri şunlardır :

"tdb\_tw" kuru termometre - yaş termometre sıcaklığı  
"tdb\_rh" kuru termometre sıcaklığı - bağıl nem  
"tdb\_w" kuru termometre sıcaklığı - özgül nem  
"tdb\_tdew" kuru termometre sıcaklığı - çığ noktası sıcaklığı  
"tdb\_pv" kuru termometre sıcaklığı - su buharı basıncı  
"tdb\_dos" kuru termometre sıcaklığı - doyunluk derecesi  
"tdb\_h" kuru termometre sıcaklığı - entalpi  
"tdb\_s" kuru termometre sıcaklığı - entropi  
"w\_rh" özgül nem - bağıl nem  
"w\_h" özgül nem - entalpi

Termodinamik veri çiftini seçtikten sonra bu veri değerlerini girdiğinizde program termodinamik verilerin değerlerini hesaplayarak verecektir.. Örneğin 25 derece kuru termometre sıcaklığı ve 20 derece yaş termometre sıcaklığı, 1.01325 bar basınç için kendi java programımızda yaş havanın özelliklerini hesaplamak için

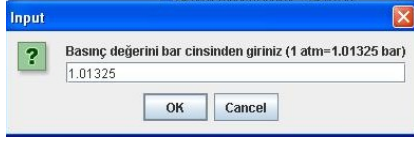
```
yashava y=new yashava();  
double a[]=y.property("tdb_tw",25.0,20.0,1.0132);
```

tanımını girmemiz yeterli olacaktır. Çıktıdaki a vektörüne yaş havanın termodinamik özellikleri yüklenmiş olacaktır. Çıktı vektöründeki değişkenler:

a[0]= P, basınç	a[8]= h enthalpi
a[1]= T, kuru termometre sıcaklığı	a[9]= s, entropi
a[2]= v, kuru hava özgül hacim	a[10]= tdew, çığ noktası sıcaklığı
a[3]= Pv su buharı kısmi basıncı	a[11]= ha, kuru havanın entalpisi
a[4]= Pa hava kısmi basıncı	a[12]= hv, su buharının entalpisi
a[5]= w, özgül nem	a[13]= hv*w, duyulur enthalpi
a[6]= rh, bağıl nem	a[14]= T yaş hava sıcaklığı
a[7]= dos, doyunluk derecesi	

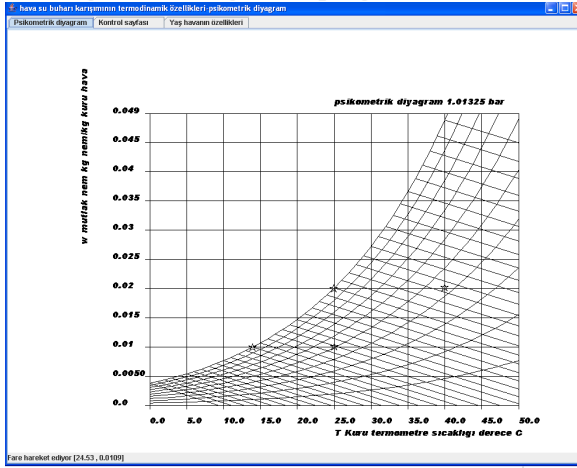
şeklinde. Bir çoğumuz için programlama gerekli olmayabilir, sadece bir program kullanarak yaş hava özelliklerinin hesaplanması bizim için kafi gelecektir. Bu kullanıcılarımız için psT.java programı hazırlanmış arayüzü programı hazırlanmış ve bu program psT.jar paketinde diğer gerekli programlarla birlikte sunulmuştur. Bu programı internet ortamında çağırabilmek için de psT\_html.html programı hazırlanmıştır.

yashava programını çalıştırmak için psT\_html.html programı ve tam kodların listesini [www.axtelsoft.com/turhan.coban](http://www.axtelsoft.com/turhan.coban) adresinde bulabilirsiniz. Aynı zamanda direk olarak çalıştırılabilen psT\_jar.jar programı da aynı adreste kopyalanmak üzere size sunulmuştur. Bu programda grafik veya tablo olmak üzere size iki türlü giriş olasılığı sunulmuştur. Programı çağırdığımızda



Şekil 3 psT\_jar.jar arayüz programı giriş ekranı

önce basınç değerini girdiğimiz bir ekran belirecektir. Şekil 3 de basınç giriş ekranı görülmektedir. Buradan kullanacağımız basınç değerini girebiliriz. Bundan sonra girdiğimiz basınçta çizilmiş bir psikometrik diyagram karşımıza gelecektir. Bu ekran aktif grafik ekranıdır, yaş hava prosesimizi oluşturmak için istediğimiz kuru termometre sıcaklığı – özgül nem çiftini bu ekran yardımıyla istediğimiz noktada farenin tuşuna basarak girebiliriz. Girdiğimiz noktada bir yıldız belirecektir. Farenin aktif koordinatları ekranın alt köşesinde görebiliriz. Şekil 4 te bu ekran görülmektedir. Girdiğimiz değerler sonucunda hesaplanan termodinamik özellikleri görmek için sayfa üzerindeki yaş havanın özellikleri düğmesine basmamız gerekir. Karşımıza şekil 5 te görülen ekran çıkacaktır. Bu ekranda temel olarak 3 kısım mevcuttur. Birinci kısımda bilinen iki termodinamik veri çiftini seçip değerleri girebildiğimiz bir veri giriş kısmı, en son girdiğimiz verinin sonuçlarının bulunduğu bir tablo ve girdiğimiz tüm verilerin listelendiği kopyelenebilir bir yazım bölümü mevcuttur. Giriş kısmından yeni bir değer girdiğimizde, bu değer ilk psikrometrik diyagram grafik ekranına da yeni bir yıldız olarak çizilecektir. Kopyalanabilir yazım bölümündeki veri yukarıdaki küçük java program örneğindeki a vektörünü açıklarken verdiğimiz sırada verilmiştir. Bu bölümde veri başlıkları da yer almaktadır. Eğer kopyalanabilir yazım bölümündeki tüm veriyi bir text dosyasına aktarmak istersek bu bölümü fare ile işaretleyip Ctrl-C (kopyele) tuşuna basmamız ve yazacağımız text dosyasını açıp Ctrl-V (Yapıştır) komutunu kullanmamız kafidir. Veriyi bir text dosyasına kopyaladıktan sonra istendiğinde excel gibi bir programda da açmamız mümkün olacaktır.



Şekil 4 psT\_jar.jar arayüz programı psikrometrik tablo grafik giriş ekranı

Özellik	Değer	Birim
P_basınç	1.01325000000000	bar
T_kuru_termometre_sıcaklığı	24.5300000000000	derg C
w_hava_nem_ıslak_nem	0.00925164565662	kg/kg
Pv_su_buharı_basınç	0.00925164565662	bar
Pv_su_buharı_sıcaklığı	24.5300000000000	derg C
w_özgül_nem	0.00925164565662	kg su buharı/kg kuru hava
rh_özgül_nem	0.50000000000000	%
h_enthalpi	50.6198115035161	KJ/kg kuru hava
h_ıslak_nem	17.0000000000000	derg C
h_ıslak_nem_sıcaklığı	14.0795000000000	derg C
h_kuru_hava_nem_ıslak_nem	25.0000000000000	derg C
h_kuru_hava_nem_özgül_nem	24.7500000000000	derg C
h_kuru_hava_nem_ıslak_nem	25.0000000000000	derg C
h_kuru_hava_nem_özgül_nem	24.7500000000000	derg C
h_kuru_hava_nem_ıslak_nem	25.0000000000000	derg C
h_kuru_hava_nem_özgül_nem	24.7500000000000	derg C

Şekil 5 psT\_jar.jar arayüz programı tablo veri giriş – tablo veri çıkış ekranı

Kontrol sayfasına bastığımızda psikrometrik diyagram grafiğinin kontrol değerlerine ulaşabiliriz. Bu değerler yardımıyla grafiğimizi değişik bir skalada, değişik ekran çizgi sayılarıyla tekrar oluşturabilir, proses detaylarına daha yakından bakabiliriz.

Burada bir noktanın belirtilmesinde yarar var, temel amacımız bazı programları tek taraflı olarak sunmak değildir. Tüm programlar açık kodlarıyla birlikte kullanıcılarımıza sunulmaktadır. Temel amaç bir üst düzey programlarda bunların alt program olarak değerlendirilmesidir. Örneğin bir arkadaşımız bir klima santral boyutlandırmasını optimize etmek istediğinde optimizasyon prosesinde bu programları direk olarak kendi programlarına entegre edebilir. Bu entegrasyon prosesinin bir

---

kısmını da dizimizin daha sonraki yazılarında inceleyeceğiz. Programı kullanırken eğer yukarıdaki ekranlar bilgisayarınızda açılmazsa “java plugin” dediğimiz internet browser programlarının java kodlarını tanımasına yarayan programlar bilgisayarınızda yok demektir. Bu programları [www.java.sun.com](http://www.java.sun.com) adresinden ücretsiz olarak temin edebilirsiniz.

Programlar java dilinde yazılan bir çok programı integre etmekte ve direkt olarak kullanmaktadır. Bunlar arasında türev integral gibi çeşitli nümerik analiz programlarını barındıran Numeric.java, Matris hepalarını yapan Matrix.java 2D grafik çizme işlemlerini gerçekleştiren Plot2D,PlotShapesSW.java gibi programlar sayılabilir. Tüm bu programlara ve bu makalenin bir kopyesine de burada açıkladığımız yaş hava programı <http://me.ege.edu.tr/~turhan> adresinden ulaşabilirsiniz.

Ayrıca aynı menüde görülen psT\_jar.jar düğmesine basarak bu programın çalışan bir versiyonunu kendi bilgisayarınıza indirebilirsiniz. Programı kendi bilgisayarınızda çalıştırmak için program üzerine çift tıklamanız kafidir. Lütfen programı çalıştırabilmek için yukarda değindiğimiz java programına ihtiyacınız olduğunu da unutmayın

## 5. Referanslar

1. Keenan, J; Keyes, F.G; Hill, P.G.; Moore, J.G., Steam Tables, Thermodynamic Properties of Water Including Vapor, Liquid and Solid, Willey Interscience publication, 1969, ISBN 0-471-04210-2
2. Ihsan Barin, Thermochemical Data of Pure Substances, VCH publishing, 1989, ISBN 3-527-27812-5
3. N.B. Vargaftick, Table of Thermophysical Properties of Liquids and Gases, 1975, Hemisphere Publishing
4. Thomas H. Kuehn, Jams W. Ramsey, James L. Threlkeld, Thermal Environmental Engineering, Prentice Hall, 3üncü baskı, 1998, ISBN 0-13-917220-3
5. M. Turhan Çoban, Java 2 Programlama Kılavuzu, ALFA yayınevi, ticarethane sok no 41/1 34410 cağaloglu İstanbul, ISBN 975-316-631-1
6. Kenneth Wark, Jr. Thermodynamics, Mc-Graw Hill International Editions, 5inci baskı, 1989, ISBN 0-07-068286-0
7. Psychrometry and Psychrometric Charts, A.W. Barenburg, Third Edition, Chamber of Mines of South Africa